

N° D'ORDRE :

1479

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

M^{lle} G. PROMSY

LICENCIÉE ÈS SCIENCES NATURELLES

1^{re} THÈSE. — DU ROLE DES ACIDES DANS LA GERMINATION.

2^{me} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *22 juil* 1912 devant la Commission d'examen

MM. Gaston BONNIER, *Président.*

VÉLAIN,

HÉROUARD,

{ *Examineurs*

MARSEILLE

TYPOGRAPHIE ET LITHOGRAPHIE BARLATIER

17-19, Rue Venture, 17-19

1912

DU ROLE DES ACIDES

DANS LA GERMINATION

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

<i>Doyen</i>	P. APPELL, <i>Professeur</i> ..	Mécanique rationnelle.
<i>Doyen honoraire</i>	G. DARBOUX, —	Géométrie supérieure.
<i>Professeurs honoraires</i> ..	Ch. WOLF.	
	J. RIBAN.	
<i>Professeurs</i>	LIPPMANN	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ	Physique mathém. et calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et algèbre supérieure.
	H. POINCARÉ.....	Astronomie mathém. et mécanique céleste.
	Y. DELAGE	Zoologie, anatomie, physiologie comparée.
	Gaston BONNIER . . .	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
	KÖNIGS.....	Mécanique physique et expérimentale.
	VÉLAIN.....	Géographie physique.
	GOURSAT	Calcul différentiel et calcul intégral.
	CHATIN.....	Histologie.
	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	JANET	Physique. —
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie physique.
	PAINLEVÉ.....	Mathématiques générales.
	HAUG.....	Géologie.
	HOUSSAY	Zoologie.
	H. LE CHATELIER... .	Chimie.
	Gabriel BERTRAND .	Chimie biologique.
	Mme P. CURIE	Physique générale.
	CAULLERY	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
	C. CHABRIÉ... .	Chimie appliquée.
	G. URBAIN	Chimie.
	Émile BOREL	Théorie des fonctions.
	MARCHIS.....	Aviation.
	Jean PERRIN.. . . .	Chimie physique.
	G. PRUVOT.....	Zoologie, anatomie, physiologie comparée.
	MATRUCHOT.....	Botanique.
	ABRAHAM.....	Physique.
	N	Application de l'analyse à la géométrie.
	N	Calcul différentiel et calcul intégral.
<i>Professeurs-adjoints</i> . . .	PUISEUX.....	Mécanique et astronomie.
	LEDUC.....	Physique.
	MICHEL.....	Minéralogie.
	HÉROUARD.....	Zoologie.
	Léon BERTRAND . . .	Géologie.
	Rémy PERRIER	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	MOLLIARD	Physiologie végétale.
	COTTON.....	Physique.
	LESPIAU.....	Chimie.
	GENTIL.....	Pétrographie.
	SAGNAC.....	Physique (Enseignement P. C. N.).
	PEREZ.....	Zoologie (Évolution des êtres organisés).

Secrétaire D. TOMBECK

A MONSIEUR HENRI JUMELLE

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MARSEILLE

HOMMAGE DE PROFONDE RECONNAISSANCE

N° D'ORDRE :

1479

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

M^{lle} G. PROMSY

LICENCIÉE ÈS SCIENCES NATURELLES

1^{re} THÈSE. — DU ROLE DES ACIDES DANS LA GERMINATION.

2^{me} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le

22 d'Avr

1912 devant la Commission d'examen

MM. Gaston BONNIER, *Président.*

VÉLAIN,

HÉROUARD,

} *Examineurs*



MARSEILLE

TYPOGRAPHIE ET LITHOGRAPHIE BARLATIER

17-19, Rue Venture, 17-19

1912



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41556008_0031

PREMIÈRE THÈSE

DU

ROLE DES ACIDES DANS LA GERMINATION

INTRODUCTION

L'influence que peut exercer sur les graines en voie de germination la réaction acide ou alcaline, plus ou moins prolongée, du milieu où se trouvent ces graines a déjà, à plusieurs reprises, préoccupé divers physiologistes ; mais, si nous rapprochons les quelques résultats ainsi obtenus, nous constatons tout de suite qu'ils semblent contradictoires.

D'une part, en effet, on admet très généralement que certains acides minéraux tels que l'acide chlorhydrique accélèrent les débuts de la germination, d'autre part, cependant, MM. Claudel et Crochetelle, pour les acides minéraux, et M. Sigmund, pour ces acides minéraux et pour les acides organiques, disent avoir constaté une action plutôt défavorable, et MM. Claudel et Crochetelle concluent nettement qu'il importe, pour la germination, que le milieu où elle s'effectue soit neutre ou alcalin. Mais, ces recherches étant peu nombreuses, il nous a paru qu'il y avait lieu : 1° de reprendre des expériences dont les résultats ne sont pas concordants ; 2° de multiplier surtout les essais avec des acides organiques.

Il n'est pas sûr, en effet, que ces acides organiques, qui normalement peuvent se trouver dans le milieu où germent les graines, quand ces graines

proviennent de baies ou de drupes, produisent les mêmes effets que les acides minéraux, en admettant, ce qui n'est donc pas encore établi pour l'instant, que ces acides minéraux soient défavorables. Enfin cette influence, pour un même acide, pourra varier énormément suivant son degré de concentration. On voit, dès lors, qu'il y a bien toute une série d'expériences à entreprendre avec différents acides et différentes graines ; et telles sont précisément les recherches qui font l'objet de ce travail.

HISTORIQUE

Les recherches relatives à l'influence des agents extérieurs sur la germination sont innombrables ; nous ne rappellerons ici que celles qui se rapportent directement au sujet même de notre travail, c'est-à-dire, celles qui sont relatives au rôle des agents chimiques dans le phénomène germinatif.

En principe, toutes les substances chimiques peuvent agir comme excitants ou comme aliments.

Dès 1875, Boëttger signale un moyen énergique pour hâter la germination des graines. Il suffit, dit-il, de les arroser avec une solution étendue d'ammoniaque ou une solution moyennement concentrée de potasse ou de soude ; le développement en est ainsi singulièrement activé, les graines de café, par exemple, dont la levée est si difficile germent, par ce traitement, au bout d'une heure.

Au sujet de cette expérience, disons tout de suite qu'ayant été frappée par la simplicité et les grands avantages de la méthode, qui, cependant, ne semble pas avoir été jamais pratiquée en agriculture, nous avons tenu à contrôler ce qu'elle peut valoir exactement. Pour cela, nous avons arrosé des graines diverses, telles que *Ceratonia siliqua*, *Diospyros Lotus*, *Phaseolus vulgaris*, *Zea Mays*, avec des solutions de potasse dont les concentrations étaient 5, 10, 25, 50 et 70 pour 100. Dans certaines expériences, les graines ont été immergées pendant dix minutes, puis lavées et abandonnées dans une atmosphère humide ; dans d'autres essais, l'immersion dans les solutions basiques a été d'une heure, ou d'une journée, ou de plusieurs jours. Nous avons constaté le gonflement plus rapide des graines à albumen corné, mais dans aucun cas, il n'y a eu accélération de la germination.

C'est, d'autre part, un fait bien connu et toujours cité que le chlore, le brome et l'iode en solutions aqueuses très diluées activent la germination et peuvent même provoquer le développement de l'embryon dans des graines âgées qui, sans l'aide de ces agents, seraient restées stériles. L'action de ces corps s'explique aisément. On sait que le chlore décompose l'eau sous l'influence de la lumière, en donnant de l'acide chlorhydrique et en mettant de l'oxygène en liberté. C'est cet oxygène, dit naissant, qui est la cause de

(1) BÖETTGER : *Moyen de hâter la germination*. (Bulletin de la Société de Chimie de Paris, t. XXIII, p. 282, 1875).

l'accélération du phénomène. Quant à l'acide sulfurique, M. Belzung (1) le considère comme un stimulant de l'embryon, pourvu que la dissolution n'en renferme pas plus de $\frac{2}{1000}$. La solution du chlore, d'après le même auteur, pourrait, en plus de l'action que nous venons de rapporter, agir par l'acide chlorhydrique mis en liberté et produirait alors un effet analogue à celui de l'acide sulfurique.

Tout récemment M. Miège (2) a observé que l'eau oxygénée, qui, à 12, à 6 ou à 3 volumes, exerce une influence toxique sur la plupart des graines, accroît, au contraire, lorsqu'on l'emploie à 1 volume, l'énergie germinatrice des semences. Les plantes provenant de graines ainsi traitées ont une vigueur plus grande, dans la suite du développement, que celles qui proviennent de graines normales.

Et c'est donc pour tous les cas précédents, qu'il semble bien qu'on puisse admettre que les substances employées avaient essentiellement agi comme excitants, dont l'action n'est que momentanée et s'exerce lorsque la graine passe de la vie ralentie à la vie manifestée. Au contraire, les substances que nous allons citer maintenant produisent des effets plus durables parce qu'elles interviendraient, pour les faciliter ou les modifier, dans les processus chimiques qui constituent la germination.

Il y a une trentaine d'années, Boehm (3) prétendait que les sels de chaux sont indispensables à la germination, et cela parce que des haricots qu'il cherchait à élever dans l'eau distillée mouraient, alors qu'ils se développaient bien dans l'eau de fontaine.

Le fait était, jusqu'à un certain point, confirmé par M. von Liebenberg, qui reconnaissait, à son tour, l'utilité de cette chaux pour la germination de graines telles que le *Phaseolus multiflorus*, le *Pisum sativum*, le *Ricinus africanus*, la *Soja hispida*, tandis qu'elle est moins nécessaire à d'autres plantes, telles que *Brassica Napus oleifera*, *Sinapis alba*, *Papaver somniferum*. Il paraît ainsi établi, concluait l'auteur, qu'il est un certain nombre de graines d'une structure incomplète, en ce sens qu'elles ne renferment pas la quantité de chaux nécessaire à l'utilisation des matières organiques de réserve.

(1) BELZUNG : *Anatomie et Physiologie végétales*, p. 966, 1900).

(2) MIÈGE : *Traitement des semences par l'eau oxygénée* (Résumé dans Botan. Centralblatt, B. 117, p. 22, 1911).

(3) BOEHM : *Ueber den vegetabilischen Nahrwerth der Kalksalze* (Wien, Akad. Sitzber., 71, 1875, p. 287).

Remarquons que M. von Liebenberg (1), n'est pas aussi absolu que M. Boehm, pour qui, non seulement la graine sans chaux souffre, mais même meurt.

C'est M. Dehérain qui, en 1881, démontrait à quelle erreur était due la conclusion de Boehm. L'agronome français obtenait, en effet, très facilement, à l'inverse du physiologiste allemand, la germination en l'absence de chaux ; et si, disent MM. Dehérain et Demoussy (2), les graines cultivées par Boehm mouraient, c'est que l'eau distillée dont il se servait était préparée dans un alambic en cuivre et que des traces de ce métal dans l'eau suffisent à tuer les graines. Un travail antérieur de M. Coupin montrait déjà, en effet, qu'on peut estimer à $\frac{1}{70.000.000}$ la nocivité du cuivre pour le blé.

De ce que l'absence de chaux n'empêche pas la germination au point d'amener la mort des plantules, il ne s'ensuit pas, d'ailleurs, que la prise de cette chaux ne puisse, d'autre part, être favorable, comme l'avait reconnu Von Liebenberg. C'est du moins l'avis de MM. Claudel et Crochetelle (3), qui constatent que l'eau de chaux et le phosphate basique sont très favorables à la germination.

Par contre, il est vrai, les mêmes auteurs reconnaissent que le carbonate de calcium n'augmente pas le nombre de graines germées. M. Heinrich (4) va plus loin et montre que ce dernier corps est nuisible au développement des Lupins.

M. André (5) ne croit pas non plus à l'utilité de la chaux pendant la période germinative ; sa pénétration dans la graine serait la conséquence de phénomènes osmotiques sans que la plante en retire un réel profit. Pour M. Windish (6), l'hydrate de chaux en solutions diluées diminue nettement l'énergie germinative.

On voit donc que, pratiquement, le chaulage est plutôt, au point de vue du moins de son influence sur la germination, à éviter puisque un grand nombre d'espèces végétales doivent en souffrir, mais qu'il est possible que la

(1) VON LIEBENBERG : *Recherches sur le rôle de la chaux pendant la germination* (Wien, Akad. Sitzber., 1881, p. 405).

(2) DEHÉRAIN et DEMOUSSY : *Sur la germination dans l'eau distillée. Influence nocive des traces de cuivre* (An. agronom., t. xxvii, p. 553, 1901).

(3) CLAUDEL et CROCHETELLE : *Influence de quelques substances employées comme engrais sur la germination* (Ann. agron., t. xxii, p. 131, 1896).

(4) HEINRICH : *Action de la chaux sur les lupins* (Ann. agronomiques, t. xxiii, p. 484, 1897).

(5) ANDRÉ : *Sur l'évolution de la matière minérale pendant la germination* (C. R. Ac. des Sciences t. cxxix, p. 1262, 1899).

(6) WINDISH : *Action de l'hydrate de chaux sur la germination* (An. agron., t. xxvi, p. 522, 1900).

chaux soit toujours utilisée si elle est présentée sous une forme adéquate aux besoins de la graine.

Après la chaux, divers autres éléments minéraux ont été de même étudiés au point de vue de leur influence sur la germination. Ce sont différents sels de potasse, de soude et d'ammoniaque, les phosphates et certains acides libres.

M. Hötter (1) a recherché l'influence de l'acide borique sur le développement des pois et des maïs, il a constaté que $\frac{1}{100.000}$ ralentissait la végétation.

M. Morel (2) a constaté le même phénomène avec les graines de blé ou de haricot, la germination a été arrêtée par des solutions d'acide borique à 2 pour 1.000.

Cependant l'acide borique entre dans la composition des nèfles, des poires, des pommes et des figes, mais son action n'a pas été recherchée sur les graines provenant de ces fruits.

MM. Claudel et Crochetelle (3) recherchèrent l'action du sulfate et du chlorure de potassium, du sulfate d'ammoniaque, de l'azotate de soude, du superphosphate d'ammoniaque et des scories de déphosphoration.

Les engrais potassiques ont retardé la levée des graines, surtout sous la forme de chlorure.

Le sulfate d'ammoniaque a eu une influence désastreuse sur la germination des pois, des lentilles, des graines de luzerne, de colza, de lin, de vesce ; l'action a été moindre sur le blé, le sainfoin.

Le nitrate de soude est défavorable.

L'acide phosphorique employé sous la forme de superphosphate a ralenti la germination ; les scories qui contiennent du phosphate basique de chaux ont donné de bons résultats, comme aussi le purin.

MM. Claudel et Crochetelle pensent que, seuls, les engrais basiques sont utiles à la germination parce qu'ils neutralisent les acides qui se produisent dans la graine comme un déchet des transformations chimiques que subissent les matériaux de réserve. Un milieu acidulé à 1 o/oo d'acide sulfurique ne laisse germer que l'avoine et l'orge ; les céréales et la vesce supporteront 1/2 pour 1.000. Les quantités d'acide produites par la graine ont été dosées par ces auteurs ; elles deviennent parfois énormes et il est probable que la chaux, les scories, le purin agissent en les neutralisant. La chaux a aussi

(1) HÖTTER : Landwirths. Versuchsst., B. XXXVII, 1890.

(2) MOREL : *Acide borique sur la germination*. (C. R. Ac. des Sciences, t. cxiv, p. 131, 1892).

(3) CLAUDEL et CROCHETELLE, *loc. cit.*

l'avantage, en pénétrant dans la graine, de transformer le phosphate acide de chaux qui s'y trouve en phosphate insoluble ; elle assure donc ainsi une réserve à la plante.

M. Sigmund (1) partage l'opinion de MM. Claudel et Crochetelle sur la nocivité des acides pendant la période germinative. D'après lui, seules, les graines de céréales manifestent une certaine résistance vis-à-vis des acides très dilués. De même, les sels acides exercent une action défavorable quand on les compare avec les sels neutres de la même base.

Mais l'auteur reconnaît encore que les bases libres et les sels à réaction fortement alcaline possèdent aussi une action toxique.

En 1898, M. Vincent (2) cherchait à faire pénétrer des dissolutions nutritives dans les grains de blé. Il les trempait pendant trois jours dans des solutions à titres divers. Il dosait ensuite les dissolutions et, par différence, évaluait les quantités de matière absorbées par le grain. Il obtint ainsi les résultats suivants : Les grains absorbent les sels des dissolutions dans lesquelles ils sont placés quand la concentration est plus grande que celle qui existe dans le grain ; il y a excrétion quand la concentration dans le grain est supérieure à celle de la dissolution. L'absorption est variable pour chaque sel ; l'échelle décroissante est la suivante : sulfate d'ammoniaque, sulfate de potasse, phosphate disodique et nitrate de soude. Le phosphate disodique accentue l'exosmose des principes contenus dans le grain, il est un dissolvant de la matière colorante et de certains principes organiques. Il y a une diminution de la faculté germinative d'autant moindre que les dissolutions employées sont plus concentrées. Le sel le plus nocif est le sulfate d'ammoniaque, le mieux supporté est le phosphate. Le mélange des sels est plus nocif que leur emploi individuel. M. Vincent conclut en disant que l'enrichissement des grains avant la germination ne doit pas procurer de grandes ressources aux besoins de la végétation à venir.

Nous pouvons cependant faire quelques objections à ce travail. D'abord la durée de l'immersion du blé nous semble trop prolongée, la respiration s'effectue mal dans le liquide, il peut y avoir un début d'asphyxie qui diminue la vitalité des semences. De plus une trop grande absorption d'eau est nuisible à la germination, il y a un minimum d'imbibition nécessaire, il y a un maximum qui est la saturation, l'optimum se trouve entre les deux. Ensuite

(1) SIGMUND : *Action des agents chimiques sur la germination* (résumé dans An. agronom. t. XXII, p. 296, 1896).

(2) VINCENT : *Absorption des dissolutions nutritives par le grain de blé* (Ann. des Sc. agronom., 2^e série, 4^e année, t. II, 1898).

l'auteur nous dit que le blé est séché au soleil avant d'être semé. Le mouillage suivi de dessiccation ne nous paraît pas non plus constituer un traitement bien favorable à la germination. Les matériaux de réserve ont pu déjà subir quelques transformations qui les ont mis dans un état tel qu'ils supportent mal la déshydratation. Il est vrai que les graines témoins ont été traitées de même, mais il y a lieu de se demander si l'influence des sels ne serait pas différente dans de meilleures conditions.

Certains auteurs ont cherché à démontrer l'absorption des sels minéraux par la plantule en employant une méthode indirecte qui n'est pas sans élégance. Ils recherchent la répercussion que l'arrivée des substances étrangères dans le végétal produit sur la respiration.

En 1895, Prianischnikoff (1) avait observé que les embryons de vesce respirent plus fortement dans le sulfate de chaux que dans l'eau distillée.

Kellner (2) dit qu'il y a accélération de la respiration des plantules de pois lorsque les graines, au lieu de se gonfler dans l'eau, ont été trempées dans l'azotate de potasse.

M. Krzemieniewski (3), en 1902, faisait germer des graines de raifort dans un milieu inerte tel que la ouate, le coton de verre, le sable grossier, qu'il humectait, soit avec de l'eau distillée, soit avec une solution minérale. Il y eut deux façons d'opérer : tantôt les graines étaient placées directement dans les pots contenant les différents liquides, tantôt, au contraire, elles étaient toutes mises à germer en présence d'eau distillée, et ce n'était qu'après quelques jours que le transport sur les solutions nutritives avait lieu. Les sels étudiés sont les azotates de chaux et de potasse, le sulfate de magnésie, le phosphate et le chlorure de potassium, à la dose de 1 o/oo. On emploie aussi des solutions dont l'un des sels est éliminé. L'auteur peut constater, dans ces expériences, que pendant les premiers jours la respiration n'est pas modifiée par la présence des solutions. A partir du quatrième ou du cinquième jour, la respiration devient plus intense en présence des sels minéraux. Le quotient respiratoire est invariable. La potasse n'est pas nécessaire pour l'accélération des échanges gazeux, mais son adjonction augmente l'énergie de la respiration.

Notons qu'il y a, sur ce dernier point, contradiction avec les faits observés par M. André sur le haricot d'Espagne. La silice et la chaux sont bien absorbées par ce végétal dès le début de la germination, mais l'absorption de l'azote,

(1) PRIANISCHNIKOFF : Landw. Versuchs. B. XLV, 1895.

(2) KELLNER *Ueber einige chemische Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum* (Landw. Versuchsst., B. XVII, 1874).

(3) KRZEMINIEWSKI. *Ueber den Einfluss von mineralnahrungsalzen auf den Verlauf der Athmung bei keimenden Samen.* (Bulletin Académie des Sciences de Cracovie, p. 163, 1902).

de l'acide phosphorique et de la potasse ne se produit qu'après l'assimilation chlorophyllienne.

Parmi les ouvrages que nous venons de citer, certains démontrent l'absorption des solutions salines par la plante, aucun ne prouve que les sels puissent jouer le rôle d'aliment pendant la période germinative. Les seules influences favorables au développement sont dues aux stimulants comme le chlore, l'ammoniaque, ou aux corps neutralisateurs des acides nocifs (Caudel et Crochetelle).

Voici maintenant un travail qui tend, au contraire, à faire admettre des vues nouvelles sur ce sujet. M. Schreiber (1), établit des recherches sur la nutrition des jeunes plantes à germination épigée. Les expériences portent sur le Navet, le Colza, la Moutarde blanche et la Spergule, et sont faites dans des sols pauvres en éléments nutritifs ou plus ou moins épuisés par des cultures précédentes.

Chaque série d'essais comprend une culture sans engrais, une avec engrais complet, puis d'autres cultures avec engrais complet moins l'un ou l'autre des principes fertilisants essentiels : azote, acide phosphorique, potasse, chaux, magnésie. Les plantules sont arrachées et pesées à l'état vert, après la chute du tégument de la graine, et avant l'apparition des feuilles définitives.

Dans tous les sols, les engrais favorisent le développement initial des plantules. Avec engrais complet, le rendement est de trois à cinq fois plus élevé que sans engrais. En général, à chaque élimination d'un des principes nutritifs correspond une diminution sensible de la récolte.

Il serait donc prouvé que les plantules assimilent d'une manière intense les substances minérales du sol avant l'épuisement complet des réserves de la graine, c'est-à-dire pendant la période germinative.

Avant d'aborder la question de l'influence des substances organiques sur la germination, il est évidemment indispensable de rappeler les travaux récents qui prouvent la réalité de l'absorption de ces substances par la plante supérieure.

Depuis 1840 et jusqu'en ces dernières années, on admettait assez généralement, la théorie exposée par Liebig dans son *Traité de « Chimie appliquée à l'agriculture »*, puis reprise par Boussingault (2). On croyait que la plante ne prenait dans le sol que les substances minérales et que tout le carbone assimilé avait l'acide carbonique de l'air pour origine ; quant à l'azote — exception faite pour les Légumineuses — il ne provenait que des sels ammoniacaux et des

(1) SCHREIBER : *La nutrition minérale chez les plantules en voie de germination*, (Revue générale agronomique, 1909).

(2) BOUSSINGAULT : *Chimie agricole*. 1868.

nitrate. L'utilité des engrais organiques tels que le fumier s'expliquait par leur nature spongieuse qui leur permettait de retenir l'eau, et par leur nitrification.

La découverte des mycorhizes modifia bien déjà quelque peu ces premières idées, mais il s'agissait là, somme toute, d'une intervention étrangère, et la théorie semblait rester entière pour les racines mêmes, considérées indépendamment des organismes étrangers qui pouvaient s'y associer.

Dès 1804, cependant, de Saussure (1) avait vu diminuer de 30 o/o la concentration de solutions sucrées sur lesquelles il élevait des pieds de Polygonées, mais cette expérience semblait avoir été oubliée et d'autant plus facilement, peut-être, qu'on mettait ses résultats sur le compte des microorganismes qui auraient pu se développer par suite du manque d'asepsie des milieux.

Ce n'est, en somme, que depuis lors que nos idées se sont progressivement modifiées. M. Bréal (2), notamment, fut des premiers à reprendre la théorie de l'humus aliment pour la plante. Il avait été frappé par les résultats obtenus par Dehérain sur des cultures d'avoine, de chanvre et de trèfle en présence des matières ulmiques du fumier, ainsi que de ceux de Böhm (3), qui faisait absorber des sucres par des plantules étiolées de haricot et les voyait se transformer dans les tissus en amidon. Petermann (4), avait, d'autre part, constaté que certaines matières ulmiques sont dialysables; M. Bréal réussit à démontrer lui-même l'absorption directe des ulmates par la plante.

Depuis lors, M. Mazé (5) a étudié l'influence de solutions de 1 à 6 o/o de glucose sur des vesces de Narbonne maintenues à l'obscurité et a vu leur poids sec augmenter.

M. Boessler (6) a reconnu que des maïs cultivés sur des solutions d'asparagine ont un gain d'azote presque aussi grand que lorsqu'on les met en contact de solutions de nitrates.

En 1899, M. Lutz (7) a exposé le résultat de recherches poursuivies dans des conditions d'asepsie rigoureuse sur l'absorption des amines et des sels

(1) DE SAUSSURE : *Recherches chimiques sur la végétation*. 1804.

(2) BRÉAL : *Alimentation des végétaux par l'humus et les matières organiques* (Ann. agronom., t. xx, p. 353, 1894).

(3) BÖHM : *Ueber Starkekörner aus Zucker* (Jahrb. agrik. chemi., 1883).

(4) PETERMANN : *Recherches sur la dialyse des terres arables* (An. agron., t. ix, p. 236, 1883).

(5) MAZÉ : *L'assimilation des hydrates de carbone et l'élaboration de l'azote organique dans les végétaux supérieurs*. (C. R. Acad. des Sciences, t. cxxviii, p. 185, 1899).

(6) BOESSLER : *L'assimilation de l'asparagine par les plantes*. (An. agron., t. xiii).

(7) LUTZ : *Recherches sur la nutrition des végétaux à l'aide de substances azotées de nature organique*. Thèse 1899.

d'alcaloïdes. L'azote était dosé dans les graines (*Zea mays*, *Cucurbita maxima*, *Helianthus annuus*) puis dans les plantes après séjour dans des terres artificiellement préparées. Les amines furent employées sous forme de chlorhydrates. M. Lutz reconnut ainsi que la plante absorbe l'azote des amines de composition simple ; la méthylamine fut particulièrement favorable. Les amines phénoliques (diphénylamine, aniline), les amines-acides (leucine, tyrosine) sont toxiques. Les sels d'ammonium composés et les alcaloïdes sont, au contraire, impropres à la nutrition de la plante supérieure qui perd en azote ; les champignons peuvent bien, il est vrai, les assimiler, mais seulement en présence d'azote minéral qui serait un agent d'entraînement.

Les résultats obtenus avec les amines expliquent la rapidité d'action des fumiers sur la végétation. On croyait que l'azote organique, avant d'être assimilé, devait être transformé en sels ammoniacaux, puis en nitrates par les ferments du sol, ce qui nécessite un temps assez long, tandis que la production des amines s'effectue dès le début de la transformation des fumiers.

Le problème de la nutrition organique azotée étant alors singulièrement éclairci, M. Laurent (1) a pensé qu'une démonstration analogue était nécessaire pour les hydrates de carbone. Il fit donc des cultures en milieux liquides, minéralisés suivant la formule de Detmer et stérilisés. Diverses substances organiques furent ajoutées à ces solutions. Les graines étaient stérilisées par une immersion de deux heures dans une solution de sublimé au $\frac{1}{500}$.

Les quantités de matière absorbée furent évaluées par les dosages des solutions, avant et après l'expérience. Le glucose est très facilement pris par les racines de maïs, soit à la lumière, soit à l'obscurité. L'assimilation chlorophyllienne peut être ainsi remplacée pendant quelque temps. Le sucre de canne et la glycérine sont aussi absorbés. Par contre, les racines sont incapables de digérer extérieurement l'amidon, même à l'état d'empois, seules les graines en germination peuvent en profiter parce qu'elles sécrètent une diastase saccharifiante. L'ulmate de potassium est absorbé, il agirait comme un excitant de l'assimilation chlorophyllienne. L'auteur conclut en disant que les plantes, vertes ou non, peuvent, à la façon des animaux, emprunter le carbone qui leur est nécessaire à certaines substances organiques. L'assimilation chlorophyllienne ne serait qu'un cas particulier du mode d'alimentation carbonée.

Enfin, en 1906, parurent les remarquables travaux de M. Lefèvre (2). La

(1) LAURENT : *Recherches sur la nutrition carbonée des plantes vertes à l'aide de matières organiques*. (Thèse de Paris, 1903.)

(2) J. LEFÈVRE : *Sur le développement des plantes à chlorophylle à l'abri de l'air dans un sol amidé, à dose non toxique*. (Revue de Botanique, t. XVIII, p. 145, 1906.)

méthode était différente de celles employées jusqu'alors. Il s'agissait de provoquer la synthèse organique en dehors des conditions normales, en supprimant totalement l'acide carbonique de l'air, tout en utilisant l'énergie lumineuse, et en nourrissant la plante au moyen des amides. Ces corps apparaissent chez les animaux à la suite de la décomposition des matières protéiques ; ce sont des excréta, des produits irréversibles (urée, acide urique, glycocolle, etc.). En physiologie végétale, les amides peuvent entrer dans de nouvelles combinaisons, il y a une réversibilité constante. Ce sont à la fois des matériaux de destruction, de transport, de construction. Lorsqu'il se forme des organes de réserve, on voit donc l'asparagine s'y rendre ; pendant la germination, elle émigre de la graine vers les différents organes.

D'après Schutzenberger, l'albumine pourrait se décomposer en urée, oxamide, glycocolle, alamine, acide amido-valérique, acide amido-butyrique, leucine. M. Lefèvre a essayé de provoquer l'absorption de ces corps dans un sol formé de sable de Fontainebleau, mélangé à une mousse teinte, stérilisée, hachée, destinée à aérer le milieu. Il dut éliminer les substances suivantes : urée, valéramide, butyramide, qui sont toxiques, et s'arrêta au mélange suivant pour 500 grammes de terre détrempée :

Tyrosine.....	0 gr. 1
Glycocolle....	0 4
Alamine	0 4
Oxamide.....	0 1
Leucine.....	0 1
Total	1 gr. 1

Les plantes furent placées sous cloche, dans un air dépourvu d'acide carbonique. Il fallut les choisir assez vigoureuses pour surmonter la crise d'inanition, ou faim d'azote, qui se produit lorsque les réserves de la graine sont épuisées. Les plantules dont les graines n'ont qu'une faible réserve (cresson, basilic) ne pourront donc être mises sous cloche qu'après une première phase de développement à l'air libre ; au contraire, les graines à forte amande peuvent être mises en expérience dès le début de la germination.

Lorsqu'on ne fournissait pas de corps amidés, la suppression de l'assimilation chlorophyllienne ne tardait pas à troubler le développement. Il se produisait des formes anormales répondant au nanisme et au gigantisme. L'albumen est insuffisant, même pendant la phase d'absorption par la plantule, à assurer le développement normal et harmonieux ; le carbone extérieur doit intervenir pour provoquer certaines combinaisons.

Dans les milieux amidés, la plante se développait jusqu'au début de la formation des fleurs. Il y avait augmentation du poids sec ; par conséquent la

croissance ne résultait pas d'une poussée endosmotique mais d'un travail de synthèse. Comme l'accroissement en poids ne s'effectuait qu'à la lumière, il apparaît que ce pouvoir de synthèse est une propriété de la chlorophylle, indépendante de sa fonction pour la décomposition de CO_2 atmosphérique.

Il n'y a plus lieu, dit l'auteur, de conserver la distinction que l'on établissait naguère entre l'alimentation des plantes à chlorophylle, que l'on croyait uniquement minérale, et celle des animaux et des plantes saprophytes, qui est surtout organique. On doit cependant retenir que chez les animaux la décomposition des ingesta est une source d'énergie, tandis que chez l'être chlorophyllien la synthèse ne s'effectue que grâce à une énergie étrangère empruntée au soleil.

Ajoutons que ces conclusions ont été, depuis, confirmées par les recherches de M. Molliard (1). Le distingué physiologiste a pénétré plus profondément dans l'étude du phénomène puisqu'il a fait connaître les modifications que l'apport des substances organiques amènent dans la structure du végétal. Les cultures ont été faites dans des tubes contenant un milieu gélosé, parfaitement stérile, avec des sels minéraux et des substances organiques en doses variées.

À la lumière diffuse, et à l'air libre (les tubes étant fermés par un tampon de ouate), le glucose a produit chez le Radis une diminution de la croissance, une simplification de la forme de la feuille avec augmentation de la chlorophylle et du tissu palissadique. De plus, les doses comprises entre 5 et 15 o/o ont provoqué la formation de tubercules, celle de 10 o/o a permis l'éclosion des fleurs, organes qui ne se produisent jamais avec la solution minérale, dans les conditions d'expérience. Enfin, le poids sec a augmenté notablement, les échanges gazeux ont été plus intenses.

La suppression de l'assimilation chlorophyllienne, obtenue par des cultures en atmosphère confinée, favorise l'absorption du glucose (la tige se tuberculise), mais à l'obscurité, le sucre extérieur ne semble pas assimilé. Les radiations solaires sont donc bien nécessaires pour la véritable utilisation des substances organiques, comme le faisait observer M. Lefèvre.

L'auteur a reconnu ensuite que le saccharose, le maltose, le lévulose sont aussi assimilés ; par contre, la plante ne profite pas de l'amidon, de l'inuline, ni de la gomme arabique, et les *acides tartrique et oxalique à 0,5 o/o ont arrêté la germination*. La mannite et la glycérine sont absorbées, mais ne semblent pas utilisées.

L'asparagine et la peptone ne sont alimentaires qu'en présence du glucose.

(1) MOLLIARD : *Action morphogénique de quelques substances organiques sur les végétaux supérieurs*. (Revue de Botanique, t. XIX, p. 241, 1907).

L'azotate de calcium augmente le rendement en poids sec lorsqu'on l'ajoute à la solution minérale ; il le diminue lorsqu'on l'ajoute à la solution glucosée à 5 o/o.

Chez d'autres espèces, plus ou moins plastiques, comme *Allium Cepa*, *Ipomea purpurea*, on a observé des réactions analogues.

La structure des végétaux est donc sous la dépendance étroite de leur chimisme, celui-ci étant influencé par les conditions extérieures. Ceci est une confirmation de la théorie Lamarckienne.

En définitive, on vient de voir par les travaux qui précèdent que l'absorption des substances organiques du sol par la plante ne saurait plus être mise en doute, mais, comme la démonstration en est encore récente, il n'y a pas à s'étonner de ce que les travaux relatifs à l'étude du phénomène pendant la période germinative soient encore très rares et très incomplets.

Signalons d'abord les expériences de M. Cornevin (1) sur l'action des poisons. L'auteur distingue les plantes à toxicité continue, dont les graines contiennent le principe répandu dans le végétal, et les plantes à toxicité interrompue, dont les graines en sont complètement dépourvues.

Pour les premières, M. Cornevin a reconnu que l'action exercée par la substance extraite des semences sur la germination des graines de même espèce est nulle. C'est ainsi que la saponine n'a pas d'influence sur la germination de *Agrostemma Githago*, que la cytisine est également supportée par les graines de *Cytisus laburnum*.

L'alcaloïde localisé dans une partie du végétal autre que la graine a des effets variables sur la germination des graines de l'espèce qui l'a fourni. Tantôt il favorise le développement, c'est le cas de l'opium avec les graines de *Papaver somnifera*, tantôt il l'entrave, c'est ce qui arrive lorsqu'on soumet des graines de tabac à l'action de la nicotine.

M. de Varigny (2) n'a étudié qu'un alcaloïde, l'atropine, mais il l'a fait agir sur les graines les plus diverses. L'influence de ce corps a été très variable. Trois cas peuvent se présenter :

- 1° L'action peut être défavorable (blé, orge, maïs, navet, radis) ;
- 2° Elle est nulle (betterave, chou, sarrazin, lentille, pois) ;
- 3° Elle est favorable (carotte, poa, laitue).

Il est à remarquer que l'auteur, dont la méthode diffère donc très

(1) CORNEVIN : *Action des poisons sur la germination des graines des végétaux dont ils proviennent*. C. R. Acad. des Sciences, t. cxiii, p. 274, 1891).

(2) DE VARIGNY : *L'atropine est-elle un engrais végétal ?* (Revue génér. de Botanique, t. iv, p. 407, 1892).

sensiblement de celle de M. Cornevin, n'a pas recherché l'action de l'atropine sur la belladone, dont on l'extrait.

Nous avons déjà relaté, lors de l'exposé des recherches de MM. Claudel et Crochetelle (1), que le purin favorise nettement la germination ; et les expérimentateurs pensent que l'avantage est dû à la neutralisation des acides de la graine.

En 1896, M. Sigmund (2) reconnut que les graisses et huiles essentielles entravent la germination des céréales.

Le fait est important au point de vue pratique, parce qu'il permettra un choix plus judicieux de certains engrais. Les tourteaux d'arachides contiennent, en effet, de 5 à 8 o/o d'huile, ceux de sésame ont de 10 à 15 o/o de substances grasses. Il faudra leur préférer les tourteaux sulfurés, c'est-à-dire ceux qui ont été entièrement dégraissés au moyen du sulfure de carbone.

Le même expérimentateur a constaté aussi que les antiseptiques organiques sont préjudiciables quand leur concentration dépasse 10 o/o. Il a remarqué que la graine semble plus résistante vis-à-vis des poisons organiques que des poisons minéraux.

Plus récemment, MM. Mazé et Perrier (3) ont reconnu que les sucres, l'alcool méthylique, l'alcool éthylique, la glycérine retardent de quelques jours la germination des graines de maïs, mais ne gênent nullement l'évolution des plantules.

L'absorption des sucres pendant la période germinative a fait l'objet des recherches de M. Lubimenko (4) qui a cultivé des embryons de *Pinus pinea* sur des solutionssucrées aseptiques. Il a observé que leur poids sec augmente à l'obscurité, sur le saccharose et le galactose ; sur tous les autres sucres le poids sec diminue, mais sensiblement moins que sur l'eau. Il y a donc eu absorption.

Les quotients respiratoires sont très élevés sur le saccharose ; pour une concentration de 10 o/o ils varient de 1,60 à 2,08 environ. Ils sont un peu moins élevés sur le glucose à 4 o/o (1,30 à 1,40), tandis qu'ils ne vont pas au delà de 0,87 sur l'eau distillée.

Les quantités d'oxygène absorbées étant toujours voisines, l'élévation

(1) CLAUDEL et CROCHETELLE : loc. citat.

(2) SIGMUND : loc. citat.

(3) MAZÉ et PERRIER : *Recherches sur l'assimilation de quelques substances ternaires par les végétaux à chlorophylle*. (Ann. de l'Institut Pasteur, t. xviii, p. 721, 1904).

(4) LUBIMENKO : *Influence de l'absorption des sucres sur les phénomènes de la germination des plantules* (C. R. t., cxxxix, p. 130, 1906).

des quotients ne peut s'expliquer que par une fermentation analogue à celle des levures. Il est à remarquer que les graines de *Zea Mays*, pendant les premiers jours de la germination, ont aussi un quotient respiratoire très supérieur à l'unité.

L'auteur pense que l'absorption des sucres fermentescibles par une plante supérieure provoque la fermentation alcoolique de ces sucres, même en présence de l'oxygène. Dans une autre série d'expériences (1) effectuées à des intensités lumineuses variées, M. Lubimenko a pu établir que l'assimilation des sucres est favorisée par la lumière, mais que c'est un éclaircissement assez faible qui donne les meilleurs résultats au point de vue de l'augmentation de poids. A une intensité lumineuse trop forte, l'assimilation des sucres s'affaiblit, mais la décomposition du gaz carbonique par l'appareil chlorophyllien commence, et le poids sec augmente de nouveau.

En 1908, M. Lefèvre (2), désireux de généraliser, s'il était possible, les résultats qu'il avait obtenus dans son étude sur l'alimentation de la plante par les corps amidés, rechercha si ces corps peuvent aussi servir d'aliment à la plantule en germination.

Pour cela, il fit des cultures aseptiques de *Zea Mays* dans des milieux minéralisés suivant la formule de Knop, l'un d'eux ayant reçu le mélange amidé à 0,5 o/o. La germination des graines se faisait dans une atmosphère dépourvue de CO² au moyen de la baryte ; et tandis que les plantules témoins n'augmentèrent pas en poids sec, il y eut un gain de matière sèche marqué chez les plantules qui se trouvaient avec les amides.

La solution amidée à 0,5 o/o favorise donc le développement de la plantule.

D'autre part, des embryons isolés de *Pinus pinea* furent cultivés, comme le faisait M. Lubimenko, sur des solutions pures de saccharose à 9 o/o contenant les sels minéraux indiqués par Knop. De plus, on faisait comparativement une culture sur la solution de Knop amidée. Le tout fut placé à la lumière diffuse. Or, si les embryons se développèrent et verdirent dans la solution sucrée, ils dépérèrent rapidement dans les autres milieux.

La solution amidée à 0,5 o/o, capable d'alimenter la plante adulte et de favoriser le développement de la graine, n'est donc pas utilisée par l'embryon libre.

(1) LUBIMENKO : *Action directe de la lumière sur la transformation des sucres absorbés par les plantules de Pinus pinea* (C. R. 1906).

(2) J. LEFÈVRE : *Effets comparés de l'aliment amidé sur le développement de la plantule adulte, de la graine et de l'embryon libre*. (C. R. A. S., t. CXXXXVII, p. 935, 1908.)

Voyant qu'il est impossible d'étendre à la nutrition de la phase embryonnaire les faits établis pour celle de la période de végétation, M. Lefèvre (1) a continué des épreuves directes pour connaître l'influence des divers milieux organiques sur le développement de l'embryon de *Pinus pinea*. Pour cela, il a mis en expérience treize ballons de culture contenant plusieurs types de solutions à des concentrations différentes.

Chaque ballon renferme 100 centimètres cubes de solution et la quantité de coton hydrophyle convenable pour que les embryons soient mouillés sans être immergés. Avec leur bouchon de ouate et leurs liquides, les ballons ont été stérilisés à 125°. Les embryons de *Pinus pinea* ayant été dégagés aseptiquement de leur endosperme (scalpel flambé, mains lavées au sublimé à 2 o/oo) on ensemence les ballons. Au bout de quarante jours, tous les ballons seront aussi limpides qu'au début : la stérilisation est parfaite.

Les treize solutions contiennent la formule minérale de Knop. Le tableau suivant donne leur composition organique :

- A. témoin pas d'aliment organique ;
- B. 9 o/o saccharose ;
- C. 0,5 o/o d'amides (leucine, tyrosine, oxamide, alamine, glyocolle) ;
- D. 0,5 o/o d'amides + 9 o/o de saccharose ;
- E. 3,5 o/o glucose ;
- F. 2 o/o peptone ;
- G. 2 o/o asparagine ;
- H. 2 o/o asparagine + 6 o/o saccharose ;
- I. 0,5 o/o peptone ;
- J. 0,5 o/o asparagine ;
- K. 0,5 o/o asparagine ;
- L. 0,5 o/o peptone + 8 o/o saccharose ;
- M. 0,5 o/o asparagine + 8 o/o saccharose ;

Dans toutes les cultures, les embryons commencent par grandir en développant leurs cotylédons. Mais bientôt s'établissent des différences profondes. En effet, B. et E. (saccharose, glucose) donnent de fortes plantules atteignant 20 ou 25 centimètres en quarante jours, L. M. (aliments complets, très sucrés et faiblement azotés) se développent aussi rapidement. Au contraire, C. D. F. G. H. I. H. (amides à 0,5 o/o, peptones et asparagine avec ou sans sucre) ne présentent aucun développement.

De là, ces conclusions générales :

(1) J. LEFÈVRE : *De l'influence de divers milieux nutritifs sur le développement des embryons de Pinus pinea*. (C. R. Acad. des Sciences, t. CXXXVIII, p. 1533, 1909).

1° Les solutions sucrées sont des aliments de choix pour l'embryon (fait de Lubimenko).

2° La solution à 0,5 o/o d'amides, aliment de la plante adulte et de la graine, est incapable de nourrir l'embryon.

3° Ajoutées en petite quantité au sucre, les peptones permettent le développement de l'embryon ; à forte dose (2 o/o) elles l'arrêtent.

4° A faible, comme à forte dose, les peptones sont incapables, à elles seules, d'alimenter l'embryon libre.

5° Les deux lois précédentes s'appliquent à l'asparagine.

Le sucre est l'aliment essentiel de l'embryon. Les matières azotées (peptones, asparagine) à faible dose, sont des aliments accessoires. Enfin, les amides à 0,5 o/o arrêtent le développement et révèlent une différence profonde entre la nutrition de la phase embryonnaire et celle de la phase post-embryonnaire.

PLAN. — MÉTHODES

Parmi les nombreux travaux que nous venons de passer en revue, les seuls qui aient trait à l'influence des acides sur la germination sont ceux de M. Hötter et de M. Morel sur l'acide borique, ainsi que ceux de MM. Claudel et Crochetelle et de M. Sigmund sur l'acidité en général. Ils tendent tous quatre à démontrer une action défavorable sur la plantule. Une remarque incidente de M. Molliard est conforme aux mêmes conclusions.

Le champ des expériences s'ouvrait donc largement à nous de ce côté, et c'est pourquoi l'étude de l'influence des acides a fait l'objet de la plus grande partie de notre travail.

I. — Dans un premier chapitre nous exposons les résultats obtenus en faisant germer les graines en milieux acides.

Le substratum employé est le sable siliceux et pur de Fontainebleau. Nous ne pouvons, en effet, utiliser les sables communs de notre région provençale, dont la composition est en général assez hétérogène, et qui auraient neutralisé plus ou moins les acides que nous voulions offrir à la graine.

L'ensemencement était fait dans des terrines qui recevaient, avec des poids égaux de sable, des volumes semblables de solutions à titres divers. Le nombre ou le poids des graines, suivant les cas, étaient aussi les mêmes dans chaque culture.

Pour éviter une évaporation rapide qui aurait nécessité un arrosage fréquent des terrines, ce qui nous aurait placée dans l'alternative de concentrer la solution si nous renouvelions le liquide primitif, puisque nous aurions remplacé l'eau évaporée par de l'eau contenant une certaine quantité d'acide, ou de la diluer si nous arrosions avec de l'eau pure, nous recouvrons la surface des terrines avec de la mousse qui était humectée tous les deux jours. Cependant, ayant remarqué que ce dispositif gênait parfois la levée des plantules issues de petites graines, car ces plantules sont grêles et délicates à leur naissance, nous n'avons pas toujours laissé la mousse reposer directement sur le sable ; nous l'avons mise, chaque fois que cela nous a paru nécessaire, sur un grillage qui était placé un peu au-dessus de la surface, sur les bords de la terrine.

Nous avons noté, de jour en jour, l'apparition de plantules au-dessus du sol ; puis, de temps à autre, nous en avons prélevé un certain nombre dont

nous avons examiné les caractères extérieurs. Nous avons aussi déterminé leur poids frais et leur poids sec.

Mais il y avait à tenir compte de ce phénomène particulier, que les graines germées diminuent de poids au début de la germination, par suite des pertes de substance effectuées par la respiration et la transpiration.

La comparaison simple des poids des plantules nous aurait donc mal renseignée sur l'état du développement. Si nous avons eu, par exemple, une différence en faveur des plantules développées en milieu acide, nous nous serions trouvée en face de deux hypothèses :

1° L'augmentation de poids pouvait provenir de la pénétration de l'acide dans le végétal ;

2° Elle pouvait être également la conséquence d'un retard dans la germination, si les plantules cultivées dans l'eau respiraient plus activement, par suite de leur plus grande croissance, et perdaient ainsi, à temps égaux, plus de matière sèche.

C'est pourquoi, pour les graines albuminées, nous avons toujours séparé les embryons des albumens avant la pesée ; et pour les graines exalbuminées, nous avons isolé les cotylédons eux-mêmes du reste de la plantule.

Pour les graines assez grosses, nous avons établi le rapport du poids de la partie végétative à celui de la masse de réserves ; et c'est ce rapport qui nous a indiqué l'état de développement.

Lorsque, au contraire, les graines expérimentées étaient très petites, nous n'avons pas pesé les restes de ces graines après l'isolement de l'embryon parce que le poids des téguments y serait entré pour une trop large part, mais nous avons prélevé un nombre assez considérable d'échantillons. Le grand nombre de ces graines nous permet d'admettre que le poids initial moyen dans les différents lots était sensiblement le même.

Il n'est pas inutile de remarquer que nous n'avons pas considéré la période germinative comme terminée à l'apparition de la chlorophylle, ainsi que l'admettent certains auteurs ; nous avons continué nos expériences jusqu'au complet épuisement des réserves.

II. — Après avoir étudié, dans les conditions précédentes, la germination des graines de fruits à pulpe nettement acide, puis celle des graines de fruits divers, nous avons, dans un second chapitre, relaté les expériences entreprises en vue de connaître l'influence que peut exercer sur le développement, l'acidité intérieure, artificiellement conférée à la graine, par une immersion préalable de cette graine dans des solutions diverses.

III. — Nous avons été amenée, en troisième lieu, à rechercher l'action des acides en présence de certaines matières nutritives. La germination était effectuée soit dans des milieux complexes et peu définis comme le terreau, soit dans le sable stérile additionné de solutions connues.

IV. — Les notions précédentes une fois acquises, il devenait intéressant de savoir si la pénétration des acides extérieurs augmentait l'acidité du suc cellulaire des plantules. Nous avons groupé, en un seul chapitre, tous les résultats obtenus en dosant l'acidité des plantules placées dans les diverses conditions antérieures.

Ces plantules étaient pesées, puis broyées dans un mortier au contact de l'eau chaude. Les eaux d'épuisement réunies étaient dosées au moyen de la liqueur décinormale de soude, avec la phénolphthaléine comme réactif indicateur.

Nous avons rapporté toutes les valeurs obtenues à 100 grammes de plantules fraîches.

Les résultats que nous a fournis cette méthode nous ayant appris, du reste, que l'acidité intérieure des plantules, n'augmente pas lorsque la germination se fait en milieu acide, il nous restait à prouver encore la pénétration des acides extérieurs dans le végétal. On ne pouvait mettre en doute qu'ils y provoquent des réactions notables puisque les phénomènes germinatifs en sont profondément modifiés ; cependant il fallait songer à répondre à l'objection suivante : l'action de l'acide pourrait être extérieure sans que sa pénétration dans la graine fût indispensable. Cet acide pourrait, par exemple, provoquer dans le milieu qui entoure la plante des transformations chimiques qui, à leur tour, amèneraient les réactions que nous avons observées au cours de la germination. Ceci est bien douteux lorsqu'on opère dans le sable de Fontainebleau si difficilement attaquable ; mais on pourrait faire observer encore que l'acide organique favorise, ou prévient, le développement de microorganismes qui auraient, eux-mêmes, une influence particulière sur la graine, ou bien que les modifications observées sont seulement le résultat des variations de la turgescence dues à la présence d'un corps en dissolution dans l'eau environnante.

Pour détruire toutes ces hypothèses, il était nécessaire de prouver l'absorption directe de l'acide par la plante d'une manière incontestable.

Deux méthodes s'offraient à nous ; la première consistait à rechercher la présence de l'acide dans le végétal, la seconde à reconnaître la disparition de l'acide extérieur dans des conditions telles que la plante seule pût l'avoir absorbé.

Nous avons reconnu, tout de suite, les inconvénients de la première méthode. Microchimiquement, les réactions des acides sont très difficiles à établir dans les graines. L'abondance du contenu cellulaire, le grand nombre des leucites gênent l'observation des cristaux. Dans les plantules, l'examen serait plus facile, mais il y a déjà une acidité notable dans les tissus, et il ne saurait donc plus être question que de quantités. Or, nous n'avons jamais

trouvé de plus grandes proportions d'acide dans les coupes de plantules qui auraient pu en absorber que dans celles des plantules cultivées dans de l'eau pure. (Dans les racines seules, ces réactions paraissent plus accusées). Ceci est, du reste, conforme à ce que nous avons constaté dans les dosages de l'acidité des plantules en masse. Mais rien ne nous prouve que l'acide n'ait pas été transformé dans la graine avant sa migration dans la plantule, ou dès son arrivée dans celle-ci. L'excès de CO_2 exhalé prouve une décomposition et nous permet d'admettre les mêmes conclusions.

V. — Nous voyons donc la nécessité d'avoir recours à la seconde méthode. Nous n'avons pas à dissimuler qu'elle est aussi très délicate et que nous n'avons réussi à l'appliquer d'une manière satisfaisante qu'après de nombreux essais infructueux.

Elle est la suivante : Une solution acide déterminée est stérilisée à l'autoclave, puis dosée au moyen de la liqueur décimale de soude. On verse ensuite un volume de cette solution dans une boîte de verre contenant un support pour les graines, le tout stérilisé à l'étuve. On introduit alors un poids connu de graines qui ont été lavées préalablement dans un bain antiseptique puis dans l'eau bouillie. Après la germination, on note le volume de liquide restant, on effectue un nouveau dosage acidimétrique, puis on calcule, s'il y a lieu, la perte d'acide éprouvée par la solution et on la rapporte à l'unité de poids de graines germées.

La difficulté consistait d'abord à trouver un support inattaquable par l'acide. Le coton de verre pouvait, en principe, paraître assez commode, mais nous avons dû renoncer à son emploi après l'expérience suivante :

Une solution d'acide citrique à 5 o/oo est stérilisée à l'autoclave, elle est ensuite dosée par la méthode acidimétrique : 1 volume demande pour la neutralisation 0^{vol}, 8 de liqueur décimale. On verse maintenant 50 centimètres cubes de la solution dans une boîte de verre, avec couvercle, contenant du coton de verre, le tout stérilisé. Après trois jours, un nouveau dosage est effectué : 1 volume de la solution acide n'exige plus que 0^{vol}, 69 de liqueur alcaline pour être neutralisé. La solution qui était primitivement à 5 o/oo n'est donc plus que :

$$\frac{5 \times 0,69}{0,8} = 4,31 \text{ o/oo environ.}$$

Après sept jours, un nouveau dosage montre qu'à 1 volume de solution acide correspond 0^{vol}, 71 de liqueur de soude. L'acidité n'a donc plus diminué, elle a, au contraire, très légèrement augmenté, ce qui s'explique par la concentration due à l'évaporation du liquide.

On voit ainsi que le coton de verre ne serait utilisable qu'au bout d'un

certain temps de séjour dans la solution acide, et après plusieurs dosages qui établiraient bien que toutes les particules basiques, qui peuvent être attaquées dans le verre très divisé, sont saturées par l'acide. Cette manœuvre et ce retard compliquent la méthode et augmentent trop les risques d'infection.

Nous avons alors fabriqué un treillis avec des tubes de verre placés à une petite distance les uns des autres, de façon que la graine soit soutenue au-dessus du liquide mais que les racines puissent y pénétrer. Les tubes doivent donc être plus ou moins rapprochés suivant la grosseur des graines employées. Ils sont maintenus par de la ficelle qu'il faut prendre soin de faire bouillir longuement avant d'en faire usage. Dans ces conditions, nous avons vérifié qu'il n'y a plus neutralisation partielle de l'acide ou que cette neutralisation est très minime. Toutefois, pour éviter les causes d'erreur, nous avons toujours préparé une boîte témoin contenant le même volume de solution acide et le même support, mais sans graines ; et c'est aux titres de cette solution que nous avons comparé ceux que nous déterminions en même temps avec la solution en contact des graines.

Le treillis est placé dans un cristalliseur en verre de Bohême. Après avoir versé l'acide, on adapte un couvercle qui ne repose pas directement sur les bords de la boîte, mais sur une bande de ouate qui permettra à l'air de circuler et d'entretenir la respiration. Le tout est porté ensuite à l'autoclave.

Pour déterminer les valeurs de l'absorption, il était nécessaire de connaître le poids exact des graines mises en expérience. Pour cela, nous pesions un premier lot d'entre elles que nous desséchions à l'étuve et nous déterminions, ensuite, le rapport du poids sec au poids frais. Un autre lot de graines, devant servir à l'expérience, était pesé (par un calcul très simple on évaluait son poids sec), puis stérilisé au sublimé. La difficulté était de trouver une concentration inoffensive pour la graine et suffisante pour tuer les germes de la surface ; suivant la nature du tégument, nous avons employé des solutions de 1 à 5 pour 1.000. Les graines sont ensuite lavées à l'eau bouillie, puis transportées à l'aide de pinces flambées entre deux feuillets de ouate humide stérilisée. Au bout de quelques jours, celles qui ont germé sont placées avec les mêmes précautions dans le cristalliseur que nous avons préparé. On dessèche les graines non germées, on les pèse et l'on soustrait leur poids du poids sec initial.

Ayant évalué la perte d'acide éprouvée par la solution, connaissant, d'autre part, le poids sec des plantules et la durée de l'expérience, nous obtenions par un calcul très simple le poids d'acide absorbé par jour, et par gramme de graines sèches.

VI. — Nous avons donc maintenant prouvé la pénétration de l'acide dans la jeune plante ; nous avons par conséquent à préciser la manière dont il est

utilisé, et l'étude des échanges gazeux doit nous fournir de précieux indices sur les réactions qui se passent dans la plante.

Pour connaître les modifications apportées dans la respiration des graines par leur séjour préalable dans une solution acide, nous avons opéré de la façon suivante :

Dans une série de récipients en verre sont versées des solutions diversement concentrées et de l'eau ; de petits lots de graines choisies aussi semblables que possible y sont ensuite placés pendant un temps qui varie de 12 à 48 heures suivant les circonstances et l'épaisseur plus ou moins grande du tégument. Les graines encore humides sont alors mises dans des tubes à essai et maintenues par du coton de verre ; puis le tout est porté sur le mercure. Avec un aspirateur, formé d'un tube coudé muni d'ampoules, nous absorbons une partie de l'air qui se trouve dans le tube à essai. Le mercure monte ainsi à l'intérieur, mais le coton de verre maintient les graines dans la partie supérieure. L'humidité apportée par les graines est suffisante pour qu'une fine couche d'eau se dépose, après quelques instants, à la surface du mercure et prévienne le dégagement de vapeurs mercurielles dont l'influence nocive aurait pu apporter des perturbations fâcheuses dans le phénomène respiratoire. Le niveau d'affleurement du liquide et de l'air est marqué avec une étiquette. L'heure de la mise en tube est soigneusement notée.

On opère de même avec chaque série de graines. Les verres de mercure et les tubes qu'ils supportent sont placés à l'obscurité.

Avec un peu d'habitude, on parvient facilement à évaluer, d'après le volume des graines, le temps convenable pour que les échanges gazeux puissent modifier suffisamment l'atmosphère des tubes, sans toutefois que la proportion d'oxygène s'abaisse au-dessous de 5 o/o.

Ce laps de temps écoulé, chacun des tubes est porté sur l'appareil de MM. Bonnier et Mangin, où l'analyse de l'air est effectuée comme l'on sait.

Le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ obtenu, il reste à rechercher l'intensité respiratoire, on l'évalue généralement par le coefficient « CO²-grammes-heure » qui est le volume de gaz carbonique rejeté en une heure par des graines ayant 1 gramme de poids sec. Pour le déterminer, nous soulevons à la fin de l'analyse le tube à essai pour laisser échapper le mercure qui s'y trouve, nous le retournons et, sans enlever les graines ni le coton de verre, nous versons de l'eau jusqu'au niveau de l'étiquette. Cette eau est ensuite transvasée dans une éprouvette graduée. Le volume qu'elle occupe correspond évidemment à celui de l'air qui entourait les graines.

Celles-ci, enfin retirées du tube, sont complètement desséchées, puis pesées. Connaissant le poids sec des graines, le volume d'air qui les entoure

et sa composition au début et à la fin de l'expérience, il nous est facile de calculer « CO^2 -gramme-heure ».

Lorsque les graines étaient de trop grandes dimensions pour être contenues dans un tube à essai, nous les plaçons dans des flacons d'Erlenmeyer jaugés d'avance et fermés par un bouchon dans lequel s'engageait un tube coudé, terminé lui-même par un tube de caoutchouc que fermait une pince de Mohr. Pour l'analyse, nous nous sommes servie de l'appareil à prises ordinaire, et l'air recueilli était porté sur l'appareil de MM. Bonnier et Mangin. Le volume des graines était déterminé par déplacement dans l'eau contenue dans une éprouvette graduée et il était retranché de la capacité du flacon correspondant.

Nous n'avons pas calculé le coefficient « CO^2 -gramme-heure » dans toutes nos expériences. Quelquefois les graines étaient si petites, celles de pavot par exemple, qu'il était difficile de les rassembler et de les séparer du coton de verre pour les peser. Il était, de même, impossible de déterminer leur poids avant l'expérience, car quelques-unes sont toujours perdues pendant le transport de la solution au tube à essai. Enfin, dans certains cas, nous avons évalué les modifications de l'intensité respiratoire sans nous servir de ce coefficient. Lorsque, par exemple, nous introduisions des poids égaux de graines dans des flacons de volumes semblables et que nous fermions les divers récipients et effectuions les prises d'air à des intervalles de temps égaux, nous nous sommes contentée de comparer les quantités de gaz carbonique rejeté pour 100, dans les différents flacons, sans nous inquiéter de ce qu'elles étaient par unité de temps et de poids.

VII. — Il était encore d'un grand intérêt de rechercher si la respiration intramoléculaire des graines est sujette aux mêmes variations que la respiration normale. Pour l'établir, nous plongeons les graines à étudier dans l'eau et dans l'acide choisi. Après un certain temps, nous partageons chacun des deux lots en deux parties inégales. La plus petite devait servir à déterminer l'intensité respiratoire dans l'air ; et l'autre, l'intensité de la respiration dans l'hydrogène. Nous avons représenté le volume de « CO^2 gramme-heure » rejeté dans l'air, c'est-à-dire normalement, par Ne, lorsqu'il s'agissait de graines plongées dans l'eau, et par Na lorsque les graines avaient été trempées dans une solution acide.

Nous avons donc ainsi les seconds termes du rapport $\frac{I}{N}$; pour déterminer les premiers, c'est-à-dire les intensités de la respiration dans l'hydrogène, nous avons adopté la méthode que voici :

On place les graines qui ont été plongées dans l'acide dans un tube en U que nous désignerons par A, celles qui ont séjourné dans l'eau, dans un tube

semblable B. Ces tubes sont fermés par des bouchons de caoutchouc, percés d'un trou dans lequel s'engage un tube de verre muni d'un robinet. L'un des tubes, partant de A, est relié à un appareil producteur d'hydrogène ; le second est relié par un conduit en caoutchouc avec B. L'autre extrémité de B est en communication avec un tube de verre deux fois recourbé plongeant dans une cuve à eau. On laisse le courant d'hydrogène passer dans les tubes pendant environ un quart d'heure, puis on recueille sur la cuve à eau un certain volume de gaz que l'on analyse au moyen de l'appareil de MM. Bonnier et Mangin. Quand il n'y a plus trace d'oxygène, on ferme les tubes en U ; on coule de la paraffine sur toutes les surfaces de jonction. Au bout d'un certain temps, une prise de gaz est faite dans le tube A. Avec l'appareil de MM. Bonnier et Mangin, on détermine le pourcentage d'acide carbonique qui s'y trouve. Après une seconde analyse de contrôle, on remplit d'eau le tube contenant toujours les graines ; cette eau est ensuite versée dans une éprouvette graduée, et l'on a ainsi le volume V d'hydrogène qui entoure les graines. Il devient facile de calculer v, volume de CO², qui y a été exhalé. Les graines sont ensuite recueillies, desséchées à l'étuve et pesées ; on calcule le volume d'acide carbonique rejeté en une heure par un gramme de matière sèche, on opère de même avec le tube B ; nous obtiendrons Ia, c'est-à-dire « CO² gramme sec-heure » lorsque les graines ont absorbé de l'acide, et Ie lorsque les graines ont été trempées dans l'eau. Les rapports $\frac{Ia}{Na}$ et $\frac{Ie}{Ne}$ peuvent être maintenant établis.

VIII. — Nous nous sommes demandée si la lumière, qui a, d'une façon générale, une si grande influence sur l'acidité, n'interviendrait pas dans l'utilisation des acides par nos graines, et nous avons recherché ce qu'est l'action des acides sur la germination à l'obscurité.

IX. — Nous avons été amenée ensuite à soumettre des graines plongées dans des solutions acides à l'action du courant électrique, et nous reportons à ce chapitre l'exposé de la méthode que nous avons employée.

X. — Enfin, nous avons terminé ces recherches sur l'influence des acides par l'étude des variations anatomiques que présentent les plantules développées dans les divers milieux.

CHAPITRE PREMIER

INFLUENCE DE L'ACIDITÉ EXTÉRIEURE SUR LA GERMINATION

Suivant le plan indiqué précédemment, nous allons tout d'abord rechercher quel est l'effet que peut produire sur la germination l'acidité du milieu dans lequel la graine germe ; et nous considérons successivement : 1° des graines provenant de fruits dont la pulpe est acide ; 2° des graines qui, telles que celles de Légumineuses, de Crucifères ou de Graminées, proviennent de fruits à péricarpe sec.

1° GRAINES DE FRUITS ACIDES.

Les graines étudiées sont celles de tomate, de piment, de courge, de citrouille, de pommier.

I. — **Graines de tomate.** — Les acides en présence desquels nous avons fait germer ces graines sont les acides oxalique, malique, tartrique, citrique, acétique, chlorhydrique et sulfurique. Nous avons été amenée à rechercher comparativement l'action de quelques-uns des sels de ces acides et nous avons employé les tartrates neutres de potassium et d'ammonium et le bitartrate de potasse. Enfin la germination a été effectuée en présence des substances mêmes du fruit obtenues directement, soit par l'extraction du jus, soit par décoction de tomates.

A. — *Acide oxalique et acide malique.* — Nos premiers essais ont porté à la fois, comparativement, sur l'acide oxalique et l'acide malique, en même temps, bien entendu, que d'autres graines de même espèce étaient mises à germer en présence de l'eau pure. Toutes ces cultures, ainsi que nous l'avons dit plus haut, étaient faites dans des terrines remplies de sable de Fontainebleau.

Chacune de ces terrines contenait 2.500 grammes de sable et 500 centimètres cubes d'eau ou de solution et recevait, d'autre part, 5 grammes de graines.

Les solutions employées ont été :

Une solution d'acide malique	à 1	o/oo
» » » oxalique	à 0,5	o/oo
» » » »	à 1	o/oo
» » » »	à 2,5	o/oo

L'ensemencement ayant été fait le 6 avril, les plantules commencent à apparaître le 18 dans la terrine contenant la solution d'acide oxalique à 0,5 o/oo, le 19 dans celle qui a reçu le même acide à 1 o/oo ainsi que dans celle à acide malique, le 20 dans le sable arrosé avec de l'eau pure et enfin le 21 seulement dans la terrine à acide oxalique à 2,5 o/oo.

Il semblerait donc ressortir de ce premier résultat que les acides peuvent accélérer la germination, mais à la condition que la solution ne soit pas trop forte, puisqu'il y aurait un léger retard en présence de 2,5 o/oo d'acide oxalique.

Les hauteurs des plantules des divers lots sont les suivantes, par ordre décroissant :

6^{cm}8, pour celles qui ont germé en présence de l'acide oxalique à 0,5 o/oo.

4^{cm}7, pour celles qui ont germé en présence de l'acide malique à 1 o/oo.

4^{cm}, pour celles qui ont germé dans le sable arrosé avec de l'eau.

3^{cm}8, pour les plantules qui ont germé en présence de l'acide oxalique à 1 o/oo.

3^{cm}5, pour celles qui ont germé en présence de l'acide oxalique à 2,5 o/oo.

Au point de vue des pesées, les différences sont :

Poids frais	Poids sec	Solution
2 gr. 085	0 gr. 130	Acide oxalique à 0,5 o/oo
1 400	0 107	» » 1 o/oo
1 085	0 102	» » 2,5 o/oo
1 450	0 120	» malique 1 o/oo
1 430	0 110	Eau

Et le rapport $\frac{\text{poids frais}}{\text{poids sec}}$ est : 16 avec l'acide oxalique à 0,5 o/oo ; 13 avec l'acide oxalique à 1 o/oo ; 13 également avec l'eau pure ; 12 avec l'acide malique à 1 o/oo ; 10 seulement avec l'acide oxalique à 2,5 o/oo.

Treize jours plus tard, c'est-à-dire le 9 mai, trente plantules sont de nouveau prélevées dans chaque terrine. La gemmule n'apparaît encore que dans le lot qui a reçu 0,5 o/oo d'acide oxalique ; et nous trouvons comme dimensions :

8 ^{cm}	avec l'acide oxalique à 0,5	o/oo
6 ^{cm} 5	» » »	1 o/oo
6 ^{cm} 8	» » »	2,5 o/oo
7 ^{cm}	» l'acide malique	1 o/oo
6 ^{cm} 5	» l'eau pure	

Pour ces mêmes plantules, le poids frais, le poids sec et le rapport $\frac{F}{S}$ du poids frais au poids sec sont :

				Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide oxalique	0,5	0/00	1 gr.	107	0 gr. 058	19
»	»	1	0/00	0 868	0 048	18
»	»	2,5	0/00	0 812	0 048	17
»	malique	1	0/00	0 923	0 057	16
Eau				0 816	0 042	18

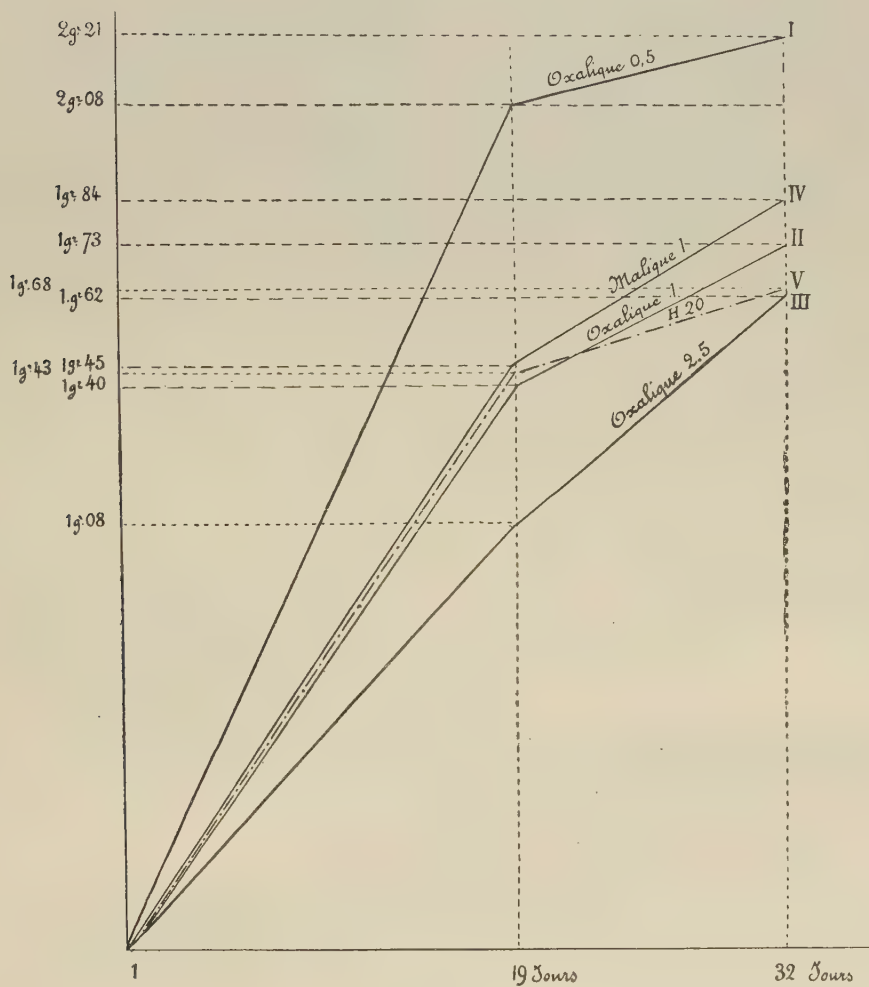


FIGURE 1.

Variations du poids frais de plantules de tomate se développant en présence des solutions acides.

Si nous examinons ces divers chiffres, nous constatons tout d'abord que, comme antérieurement, les acides sont favorables jusqu'à une certaine dose de concentration, nous voyons aussi, toutefois, que l'influence nuisible des solutions trop concentrées s'affaiblit au cours du développement. L'acide oxalique à 1 o/oo, qui, au début, avait retardé la croissance l'a, en effet, ensuite accélérée, sans que cependant cette accélération atteigne celle provoquée par le même acide à 0,5 o/oo.

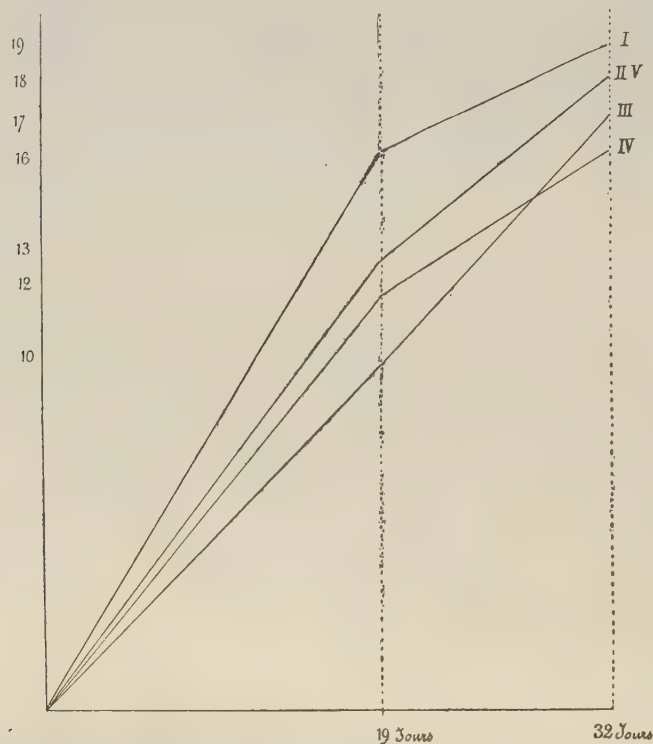


FIGURE 2.

Variations de la teneur en eau des plantules de tomate, en présence de (I) l'acide oxalique à 0,5 o/oo; (II) l'acide oxalique à 1 o/oo; (III) l'acide oxalique à 2,5 o/oo; (IV) l'acide malique à 1 o/oo; (V) l'eau pure.

Autre constatation : Le rapport $\frac{F}{S}$ est plus élevé avec l'acide oxalique qu'avec l'acide malique ; et il est plus faible, d'ailleurs, avec ce dernier acide qu'avec l'eau pure.

A priori, il est deux explications possibles de ce fait, sur lequel il importe d'autant plus de nous arrêter dès maintenant que nous le constaterons, de nouveau, dans la suite de nos expériences. Ou bien cet affaiblissement du

rapport $\frac{F}{S}$ a pour cause une moindre absorption d'eau, ou bien il est dû surtout à une surproduction de la substance sèche, surproduction qui ne s'accompagnerait pas d'une augmentation proportionnelle de la quantité d'eau absorbée. De ces deux hypothèses, c'est vraisemblablement la seconde qu'il faut adopter, car, en premier lieu, le tableau précédent nous montre déjà un poids sec plus fort en présence de l'acide malique à 1 o/oo qu'en présence de l'acide oxalique à la même concentration ; en second lieu, cette hypothèse concorde avec le fait connu que l'acide malique se décompose plus rapidement à la lumière que l'acide oxalique.

Ces résultats précédents peuvent être, en tout cas, déjà schématisés dans les courbes ci-dessus (*Fig. 1 et fig. 2*) :

Ces courbes nous montrent bien que la solution optima pour l'accroissement en poids frais et la turgescence est celle d'acide oxalique à 0,5 o/oo, que la solution du même acide à 1 o/oo est sans effet sur la teneur en eau, qu'elle est défavorable puis légèrement avantageuse pour l'accroissement en poids. La solution d'acide oxalique à 2,5 o/oo est nuisible à tous les points de vue. L'acide malique a fait diminuer un peu la proportion d'eau mais l'ensemble de la récolte a été favorisé.

B. — *Acides tartrique et citrique.* — Le dispositif général de nos expériences est le même que précédemment, mais cette fois les graines ont été plongées, pendant douze heures, dans les solutions qui serviront à humecter ensuite le sable des terrines dans lesquelles on lesensemencera.

Ces graines ont donc pu déjà absorber, avant la germination, une certaine quantité de l'acide dont la plantule retrouvera plus tard un complément dans le milieu extérieur.

Nous avons opéré dans une solution d'acide tartrique à 1 o/oo, une autre solution du même acide à 5 o/oo, et une solution d'acide citrique à 1 o/oo.

Les plantules de la terrine arrosée avec l'acide tartrique à 1 o/oo apparaissent les premières.

Vingt-trois jours après l'ensemencement, nous prélevons 70 plantes dans chaque lot et nous en déterminons le poids frais et le poids sec :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique à 1 o/oo.	2 gr. 650	0 gr. 122	21,7
Acide tartrique à 5 o/oo.	1 530	0 102	15
Acide citrique à 1 o/oo.	2 000	0 110	18
Eau	1 945	0 110	17,6

Les résultats sont donc les suivants :

1° Les acides tartrique et citrique, en solution à 1 o/oo, favorisent la germination de nos graines.

2° L'acide tartrique est bien plus favorable que l'acide citrique, car celui-ci n'a augmenté que la proportion d'eau, celui-là a provoqué une augmentation de la turgescence, ainsi qu'une élévation du poids sec.

3° L'acide tartrique à la dose de 5 o/oo est défavorable; il diminue l'absorption de l'eau et fait baisser le poids sec.

4° Si nous comparons les récoltes en poids frais obtenues avec l'emploi des acides à celle obtenue par simple arrosage avec l'eau pure, nous voyons que ces récoltes ont été plus fortes avec l'acide tartrique et l'acide citrique à 1 o/oo, car le rapport $\frac{E}{A}$, de la récolte avec l'acide à la récolte avec l'eau, a été de 1,36 pour l'acide tartrique et de 1,02 pour l'acide citrique; par contre, ce même rapport n'est plus que de 0,78 avec l'acide tartrique à 5 o/oo.

L'action produite par ces acides sur le poids sec est plus faible, mais elle s'exerce toujours dans le même sens, puisque le rapport $\frac{A}{E}$ des récoltes sèches est 1,10 pour l'acide tartrique à 1 o/oo, 1 pour l'acide citrique à la même concentration, 0,92 pour l'acide tartrique à 5 o/oo. La récolte a donc été diminuée sous l'influence de cette forte concentration qui apparaît, à tous égards, comme défavorable.

Nous ne pouvons, toutefois, exposer ici ces résultats sans signaler une particularité constatée avec des graines d'autre provenance que les précédentes. Et nous devons mentionner le fait parce qu'il a cet intérêt d'indiquer une influence possible de l'âge des graines, au moins pendant une phase de la période germinative.

Tandis que toutes les semences dont nous nous sommes servie, d'ordinaire, dans ce travail étaient des semences choisies, provenant de la maison Vilmorin et Andrieu, celles que nous avons employées dans l'essai suivant étaient de provenance quelconque et vraisemblablement d'une récolte déjà ancienne.

Ces graines ont été, ici encore, plongées, pendant douze heures, dans les solutions respectives, avant l'ensemencement, puis mises à germer en présence de solutions à 0,5, 1 et 2, 5 o/oo d'acide tartrique. Or, il n'y a eu, cette fois, tout d'abord, aucune avance dans l'apparition des plantules développées en milieu acide, et nous n'avons pas constaté davantage de différences dans la végétation pendant les quinze premiers jours.

Cependant, un peu plus tard, des différences se sont manifestées, et alors dans le sens ordinaire.

Voici, en effet, les poids de trente de ces plantules, vingt-cinq jours après l'ensemencement.

	Poids frais	Poids secs	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique à 0,5 o/oo	1 gr. 420	0 gr. 063	22,5
Acide tartrique à 1 o/oo	1 735	0 063	27,5
Acide tartrique à 2,5 o/oo	1 375	0 063	20,2
Eau.....	1 443	0 058	24,8

Il y a donc bien inégalité dans ces poids ; et les différences sont, de nouveau, en faveur de l'acide tartrique, qui à 1 o/oo a augmenté le poids frais, et à toutes les doses a augmenté le poids sec.

Ce qui nous fait admettre une intervention de l'âge dans ce résultat, c'est surtout cette constatation que le nombre des semences qui ont levé a été plus faible qu'il ne l'est d'ordinaire ; et nous en devons, par conséquent, tirer cette conclusion curieuse et inattendue que l'âge, en influant sur la sensibilité que présente la graine à l'action des acides, diminue surtout cette sensibilité pendant la période qui correspond au réveil de la graine, mais aurait ensuite beaucoup moins d'effet sur cette sensibilité à partir de l'instant où, la germination ayant commencé, la plantule se développe.

C. — *Acide acétique et acide citrique ; acides minéraux chlorhydrique et sulfurique ; eau de chaux.* L'acide acétique et l'acide citrique ont été employés dans les mêmes conditions que les acides précédents. Mais pour les acides minéraux, qui n'ont été fournis aux graines qu'à des doses très faibles, nous n'avons déterminé ces doses que par le degré d'acidité que présentaient les solutions.

Ce degré d'acidité a été établi au moyen de la liqueur décimale de soude, avec laquelle, en même temps, pour préciser les comparaisons, nous avons recherché l'acidité des deux acides organiques. Le réactif indicateur a été la phénolphthaléine.

Les résultats sont exprimés ci-dessous par le volume de liqueur basique auquel correspond un volume de solution acide :

Nature de l'acide	Concentration	Acidité
Acide citrique	0,5 o/oo	0,062
» »	1 o/oo	0,125
» »	2,5 o/oo	0,312
Acide acétique.....	1 o/oo	0,100
» »	2,5 o/oo	0,250
Acide chlorhydrique.....		0,040
Acide sulfurique.....		0,050

Les solutions, ainsi dosées, nous paraissent maintenant plus comparables et nous pourrions plus facilement, dans l'action exercée sur les graines,

distinguer, s'il y a lieu, la part due uniquement à l'acidité, et celle qui revient à la spécificité de l'acide dissous.

A côté de toutes ces cultures, en milieux acides, nous avons fait germer aussi des graines dans le sable alcalinisé par l'eau de chaux, étendue d'une fois son volume d'eau.

Nos graines de tomate ont été ensemencées, le 19 avril, dans les conditions habituelles.

Six jours plus tard, c'est-à-dire le 25 avril, les plantules apparaissent dans les terrines arrosées avec les acides chlorydrique, sulfurique et acétique à 1 o/oo. Le 27, elles se montrent dans la plupart des autres terrines ; le 28, dans la culture, témoin, et le 29, dans la terrine contenant l'eau de chaux.

Le 30 avril, quinze plantules sont prélevées dans le sable arrosé avec l'acide acétique à 1 o/oo, et quinze autres dans le sable arrosé d'eau.

Les premières mesurent 5 centimètres et pèsent 0 gr. 420 ; les plantules témoins n'ont que 4 centimètres, leur poids est de 0 gr. 345.

Il y a donc une avance manifeste pour les plantules développées en présence de l'acide. Mais le poids sec des mêmes plantules n'est plus, pour l'acide acétique, que 0 gr. 030, tandis qu'il est un peu plus élevé pour l'eau, avec laquelle il est : 0 gr., 033. Ceci nous donne, comme rapport $\frac{F}{S}$, 14 pour l'acide acétique, 10,45 avec l'eau. L'effet de l'acide est ainsi surtout une augmentation de la teneur en eau des plantules, et la conséquence dernière en est une croissance plus active.

Nous prélevons, le 10 mai, trente plantules dans chaque terrine ; leur taille moyenne atteint 7^{cm} 5 avec l'acide chlorhydrique et l'acide acétique à 1 o/oo, elle est de 7 centimètres dans la plupart des autres milieux. Les plantules témoins n'ont que 6^{cm} 5 et celles développées en présence de l'eau de chaux n'atteignent que 6 centimètres. Ces dernières présentent donc un certain retard.

Les poids frais et secs des mêmes plantules sont respectivement :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide acétique..... à 1 o/oo	1 gr. 045	0 gr. 060	17,4
» » à 2,5 o/oo	1 103	0 060	18,3
Acide citrique..... à 0,5 o/oo	1 273	0 075	16,9
» » à 1 o/oo	1 283	0 070	18,3
» » à 2,5 o/oo	1 240	0 075	16,5
Acide chlorhydrique.....	1 350	0 060	22,5
Acide sulfurique.....	1 250	0 058	21,5
Eau de chaux.....	0 880		
Eau.....	0 845	0 063	13,4

Il semble, par suite, que ce sont les solutions à faible degré d'acidité qui favorisent le plus l'accroissement en poids frais. Au point de vue de l'augmentation de substance sèche, il faut tenir compte de la spécificité de l'acide, et ce sont les solutions d'acide citrique qui, indépendamment de leur concentration, se montrent les plus favorables.

L'eau de chaux, qui retarde la croissance des plantules, a été avantageuse pour l'accroissement en poids frais, bien que son influence soit moins considérable à ce point de vue que celle des acides. Un accident nous a, malheureusement, empêché de déterminer dans cette première pesée l'action exercée d'autre part par cette eau de chaux sur le poids sec. Et nous n'avons pu ultérieurement combler cette lacune, puisque les plantules arrosées d'eau de chaux sont mortes avant les secondes pesées, qui ont eu lieu le 27 mai, et dont voici, ci-dessous, les résultats. Nous n'avons ici prélevé que dix plantules dans chaque lot :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide acétique à 1 o/oo.....	0 gr. 485	0 gr. 022	22
» » à 2,5 o/oo.....	0 392	0 020	19,6
Acide citrique à 0,5 o/oo.....	0 442	0 023	19,2
» » à 1 o/oo.....	0 605	0 028	21,5
» » à 2,5 o/oo.....	0 427	0 018	23,7
Acide chlorhydrique.....	0 484	0 020	24,2
Acide sulfurique.....	0 378	0 019	19,8
Eau.....	0 263	0 019	13,8

La hauteur moyenne des plantules est, à la même époque, de 6^{cm}7 dans la terrine arrosée avec de l'eau pure ; elle atteint 7 centimètres avec les acides chlorhydrique, sulfurique et citrique à 0,5 o/oo, 7^{cm}5 avec ce dernier acide à 2,5 o/oo, 8 centimètres avec l'acide acétique à 2,5 o/oo, 8^{cm}7 avec les acides citrique et acétique à la dose de 1 o/oo.

Ainsi, toutes les solutions acides employées ont encore augmenté la récolte tant sous le rapport du poids que de la taille des plantules ; et les différences se sont même accusées au cours de la végétation. Toutefois, comme à l'époque de ces dernières pesées, les plantes témoins commençaient à souffrir d'inanition, puisque leur poids avait déjà diminué, nous préférons établir les valeurs de $\frac{A}{E}$ avec les chiffres du début de la germination.

Ce rapport est 1,23 avec l'acide acétique à 1 o/oo, 1,30 avec le même acide à 2,5 o/oo ; il est respectivement, pour les solutions à 0,5, 1 et 2,5 o/oo d'acide citrique, 1,50, 1,51 et 1,46. Il atteint 1,59 avec l'acide chlorhydrique et 1,47 avec l'acide sulfurique.

En résumé, l'acide chlorhydrique et l'acide citrique en solutions très diluées sont éminemment favorables dès le début de la germination; l'effet produit par l'acide acétique est un peu moins rapide, mais en définitive semble presque aussi grand.

Tous les acides augmentent la turgescence des plantules; mais les acides organiques seuls augmentent leur poids sec. A ce point de vue, les acides organiques agissent, sans doute, comme aliments à une époque où l'assimilation chlorophyllienne est encore peu active et où la trop faible quantité de substances qu'elle introduit dans la cellule équilibre mal les pertes dues à la respiration et à la transpiration.

D. — *Tartrates*. — L'influence des acides sur la germination des graines de tomate est à présent établie. Mais en quoi consiste au juste cette influence? Doit-elle être attribuée à l'acidité seule, ou bien à l'apport d'une substance jouant le rôle d'aliment, ou bien encore à ces deux causes réunies? Notons que les effets que nous avons vu produire par les acides minéraux militeraient en faveur de la première de ces trois hypothèses, car il nous semble difficile d'admettre que les petites quantités d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique introduites dans la plantule jouent un rôle réellement alimentaire; ces acides nous apparaissent plutôt comme des excitants. Mais pour nous en assurer, et, pour, en tous cas, reconnaître s'il n'y aurait pas, en même temps, conformément à la troisième hypothèse, action des acides organiques en tant qu'aliments, nous avons comparé la germination de nos graines en présence de l'acide tartrique d'une part, et de tartrates, de l'autre. Au reste, nous savons déjà ce que produit une concentration d'acide tartrique à 1 o/oo.

Voyons maintenant comment vont agir le tartrate neutre de potassium, le tartrate neutre d'ammonium et le bitartrate de potasse.

Ces tartrates ont été employés aux doses de 5 o/oo pour les deux tartrates neutres et 1,25 o/oo pour le bitartrate de potasse.

Cinq jours après l'ensemencement, les plantules apparaissent dans les terrines arrosées avec le bitartrate de potasse; le lendemain seulement, elles se sont montrées dans la terrine témoin, en même temps, d'ailleurs, que dans une autre terrine qui avait été arrosée avec 0,1 o/oo d'acide tartrique; puis, ce n'est que le lendemain qu'elles apparaissent dans la terrine avec tartrate de potasse et trois jours après, dans celle avec tartrate d'ammoniaque.

Le vingt-cinquième jour après l'ensemencement, trente plantules sont prélevées dans chaque lot, et les dimensions, le poids frais, le poids sec et le

rapport $\frac{F}{S}$ sont les suivants :

	Taille	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Bitartrate de K...	6 ^{cm} 7	1 gr. 333	0 gr. 068	19 gr. 6
Tartrate de K...	5 ^{cm} 5	1 072	0 060	17 8
Tartrate de NH ⁴ .	4 ^{cm}	0 875	0 062	14 1
Eau.....	6 ^{cm}	0 914	0 065	14

En outre, le rapport du poids de chaque récolte avec sel au poids de la récolte témoin avec eau pure a été :

1° Si nous établissons ces récoltes en poids frais : 1,45 avec le bitartrate de potasse, 1,17 avec le tartrate de potasse, 0,95 avec le tartrate d'ammoniaque ;

2° Si nous établissons ces récoltes en poids sec : 1,04 avec le bitartrate, 0,92 avec le tartrate de potasse, 0,95 avec le tartrate d'ammonique.

Toutes ces expériences nous ont amenée à formuler les conclusions suivantes :

Comparativement avec l'eau, le bitartrate a augmenté le poids sec, les tartrates neutres l'ont diminué.

Si nous considérons les poids frais, les résultats sont, par contre, un peu différents, car ce poids frais est encore diminué par le tartrate d'ammoniaque, mais il ne l'est plus par le tartrate neutre de potasse.

Conséquence : la turgescence est plus forte avec le bitartrate et le tartrate neutre de K qu'avec l'eau, tandis qu'elle n'a pas été modifiée (14,1 au lieu de 14) par le tartrate d'ammonium.

Mais l'influence plutôt nuisible du sel d'ammonium étant reconnue, comparons maintenant les récoltes que fournissent le bitartrate et le tartrate neutre de potasse avec celles que donne l'acide tartrique, pour lequel nous avons trouvé 1,36 pour les poids frais et, 1,10 pour les poids secs. Si nous nous reportons aux chiffres indiqués plus haut, nous voyons que :

Pour la récolte en poids frais, le bitartrate est plus favorable (1,45 au lieu de 1,36) que l'acide tartrique, qui est lui-même plus avantageux (1,36 au lieu de 1,17) que le tartrate neutre de potasse.

Pour la récolte en poids sec, c'est l'acide qui est l'agent le plus efficace (1,10 au lieu de 1,04, avec le bitartrate, et 0,92 avec le tartrate neutre de K).

Il nous semble, par conséquent, que c'est l'acidité qui agit, plutôt que la substance même considérée comme aliment ; l'augmentation de poids frais en présence du bitartrate devant être attribuée au pouvoir osmotique de ce sel.

E. *Substances du fruit.* — L'idée fondamentale qui a été la base et le point de départ de nos recherches étant que, peut-être, les substances du fruit ont une influence sur la germination des graines, nous sommes arrivée maintenant au moment où nous allons rechercher si cette action est réelle.

Pour nous en rendre compte, il fallait faire germer les graines en présence des substances extraites directement du péricarpe.

Nous avons donc préparé un jus de tomates obtenu en pressant les morceaux de fruits à travers un linge, nous avons filtré ce jus, puis nous l'avons stérilisé.

D'autre part, avec les résidus de la pulpe écrasée pour la préparation du jus, nous avons fait une décoction qui a été purifiée de même.

Ces liquides étant concentrés et très acides, bien plus acides certainement que ne peut l'être le fruit au moment de la germination des graines, nous les avons étendus de façon à leur donner une acidité correspondant à 0^{vol},05 de liqueur décinormale de soude. Après quoi, nous en avons arrosé du sable où nos graines ont été mises à germer.

Onze jours après l'ensemencement, des plantules sont apparues dans les terrines ayant reçu le jus et la décoction, tandis que les plantules des terrines arrosées avec de l'eau pure ne se sont montrées que le lendemain. Le développement a été ensuite bien plus rapide en présence des substances du fruit, comme l'indiquent le poids frais et le poids sec, ci-dessous, de trente plantules prélevées vingt-cinq jours après l'ensemencement :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Décoction.....	1 gr. 620	0 gr. 063	25,7
Jus.....	1 343	0 072	18,6
Eau.....	0 914	0 065	14

L'intérêt de ces résultats est qu'il nous montrent que le jus et la décoction de tomates, qui accélèrent tous deux d'ailleurs la germination, ont agi de manière bien différente sur l'accroissement des plantules.

Tandis que la décoction ne modifie pas le poids sec et augmente, par contre, l'absorption d'eau d'une façon surprenante, l'action du jus de fruit s'exerce à la fois sur l'accroissement en matière sèche et sur la turgescence, mais plus modérément.

Les rapports $\frac{A}{E}$ des récoltes en poids frais sont 1,77 pour la décoction, 1,46 pour le jus de tomates, alors que les mêmes rapports des récoltes sèches sont 0,97 et 1,10.

La décoction semble donc avoir entraîné des substances agissant comme osmotiques, mais non des substances jouant le rôle d'aliment. Par contre, ces deux substances existeraient dans le jus ; et étant donné que c'est ce jus dont la composition représente réellement celle du péricarpe, il apparaît donc

bien qu'il y aurait dans les fruits charnus certains composés qui peuvent intervenir dans la germination des graines de ces fruits. Et ces composés ne seraient pas seulement des acides puisque ceux-ci se trouvaient à la fois dans le jus et dans la décoction. Des expériences que nous citerons plus loin peuvent permettre d'ajouter dès maintenant que certainement au nombre de ces substances agissantes se trouve le glucose.

II. — **Graines de piment.** — Les conditions d'expérience sont les mêmes que pour les graines de tomate ; nous n'avons donc pas à les décrire de nouveau. La germination a lieu dans du sable de Fontainebleau arrosé avec les solutions suivantes :

Eau.	
Acide tartrique	à 0,5 o/oo
» »	» 1 o/oo
» »	» 2,5 o/oo
Acide citrique	» 0,5 o/oo
» »	» 1 o/oo
Acide malique	» 0,5 o/oo
» »	» 2 o/oo

L'ensemencement ayant été fait le 6 avril, les plantules apparaissent le 24 dans l'acide tartrique à 0,5 o/oo, le 26 dans l'acide tartrique à 1 o/oo et dans l'acide citrique à 0,5 o/oo, le 27 dans les autres lots.

Le 2 mai, nous prélevons douze plantules dans chaque terrine ; les dimensions, le poids frais, le poids sec sont :

	Taille	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique à 0,5 o/oo	6 cm. 5	0 gr. 485	0 gr. 042	11,54
» » à 1 o/oo	4 5	0 325	0 045	7,22
Acide citrique à 0,5 o/oo	8	0 505	0 040	12,62
» » à 1 o/oo	5	0 340	0 038	8,94
Acide malique à 0,5 o/oo	4 7	0 343	0 035	9,85
Eau	5	0 385	0 035	11

Les solutions à 0,5 o/oo d'acide citrique et d'acide tartrique ont donc, seules, augmenté le poids frais et la turgescence des plantules ; le poids sec a été accru par toutes les solutions employées.

Trente plantules sont de nouveau prélevées le 24 mai, et leur poids est indiqué ci-dessous :

		Taille	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique à 0,5 o/oo	9 cm.		1 gr. 720	0 gr. 110	15,63
» » 2,5 o/oo	7 7		1 190	0 098	12,14
Acide citrique 0,5 o/oo	8 5		1 270	0 085	14,94
Acide malique 0,5 o/oo	9		1 275	0 100	12,75
» » 2, o/oo	8 5		1 307	0 090	14,52
Eau	7		1 200	0 085	14,11

La germination des graines de piment a donc été encore nettement favorisée par certaines solutions acides, qui sont l'acide tartrique à 0,5 o/oo, l'acide malique à 0,5 et à 2 o/oo, l'acide citrique à 0,5 o/oo.

Cette influence de l'acide a été très variable avec la concentration, puisque l'acide tartrique à 2,5 o/oo a été nuisible, tandis qu'il s'est montré très avantageux pour la plantule à la dose de 0,5 o/oo.

III. — Graines de courge. — Les solutions employées sont :

Acide citrique.	0,5	1	3 o/oo
» oxalique.....	0,5	1	5 o/oo
» tartrique.....	0,5	1	3 o/oo
» malique....	0,5	1	5 o/oo

Les conditions sont toujours les mêmes ; du sable de Fontainebleau dans des terrines recevant chacune 15 graines.

L'ensemencement est fait le 6 avril, les plantules se montrent à partir du 22. Dès le début de la germination, les plantules du lot à acide tartrique 0,5 o/oo ont une avance extraordinaire sur les autres. Trois jours après leur apparition, elles mesurent de 10 à 14 centimètres, leurs cotylédons sont très larges et très verts. Viennent ensuite celles du lot à acide tartrique à 1 o/oo, parmi lesquelles la plus développée atteint 10 centimètres ; leurs cotylédons sont bien verts mais moins larges. Dans le lot à acide tartrique à 5 o/oo l'une atteint 7 cent. 5. Dans toutes les autres terrines les plantes sont à peine sorties.

Nous prélevons une plantule dans chaque lot, le 8 mai, pour en doser l'acidité intérieure. Les résultats de ce dosage seront exposés dans un autre chapitre. Mais indiquons dès maintenant les poids de ces plantules qui donnent une idée de l'état du développement à cette époque :

			Poids frais
Acide tartrique	0,5 o/oo		3 gr. 245
»	1	o/oo	4 105
»	3	o/oo	3 610
»	5	o/oo	3 140
Acide citrique	0,5 o/oo		2 030
»	1	o/oo	2 375
Acide oxalique	0,5 o/oo		2 175
»	1	o/oo	2 670
»	5	o/oo	2 190
Acide malique	0,5 o/oo		1 805
»	5	o/oo	2 960
Eau			1 940

On voit que, exception faite pour l'acide malique à 0,5 o/oo, tous les milieux acides ont donné des plantules plus fortes que le lot témoin.

Le 13 mai, nous mesurons l'axe hypocotylé à partir de sa sortie de terre, ainsi que les cotylédons; et voici en même temps que ces mesures, le nombre de feuilles que porte en moyenne chaque plantule.

	AXE hypocotylé	COTYLÉDONS			NOMBRE de feuilles
		Longueur	Largeur	Surface	
Acide tartrique 0,5 o/oo	17 cm	7 ^{cm} 5	3 ^{cm}	22 ^{cm} 250	3
» » 1 »	14	5, 5	2, 5	13, 75	3
» » 3 »	9	5	2, 5	12, 50	2
» » 5 »	9	5	2, 3	11, 50	2
Acide citrique 0,5 o/oo	3	4, 5	2, 1	9, 45	1
» » 1 »	3	4, 5	2,	9	1
» » 3 »	7	4	1, 5	6	0 à 2
Acide oxalique 0,5 o/oo	6	3	1, 5	4, 50	0 à 2
» » 1 »	8	3, 5	1, 5	5, 25	0 à 2
» » 5 »	3,5	3, 5	1, 8	6, 30	1 à 2
Acide malique 0,5 o/oo	4	3, 5	1, 8	6, 30	1 à 2
» » 1 »	4	3, 5	1, 5	4, 50	0 à 2
Eau.....	6	3, 5	1, 5	5, 25	1 à 2

Les différences morphologiques sont considérables. On remarque que la plantule qui provient de la terrine arrosée avec l'acide tartrique à 0,5 o/oo est trois fois plus grande que celle qui a reçu de l'eau pure; la surface de ses cotylédons est quadruplée. Toutes les solutions d'acide tartrique accélèrent d'ailleurs la germination d'une façon surprenante. L'acide citrique et l'acide malique sont favorables, mais leur action est moins intense.

Un autre échantillon a été prélevé le 19 mai. Chaque plante, ici, n'a pu être desséchée entièrement parce qu'elle a servi pour le dosage de l'acidité,

mais un de ses cotylédons a été pesé séparément, puis mis à l'étuve, et c'est sur ce cotylédon que nous avons déterminé le poids sec et la turgescence. Les résultats sont ceux-ci :

		POIDS frais	Longueur de la tige	Longueur des racines	Nombre de feuilles	POIDS d'un cotylédon	POIDS sec	F S	SURFACE d'un cotylédon
Acide tartrique	0,5 o/oo....	6 ^{gr} 460	23 ^{cent}	9 ^{cent}	4	0 ^{gr} 984	0 ^{gr} 058	16,9	20 ^{cm²} 10
»	» 1 o/oo....	5, 793	18	6	3	0, 995	0, 065	15,3	14,75
»	» 5 o/oo....	5, 060	13	8	3	0, 945	0, 062	15,2	15
Acide citrique	0,5 o/oo....	4, 131	7	4,5	3	0, 945	0, 065	14,5	11
»	» 1 o/oo....	4, 183	7	3,5	4	0, 837	0, 066	12,8	11
»	» 3 o/oo....	3, 720	9,5	5,6	3	0, 625	0, 050	12,5	9,2
Acide oxalique	0,5 o/oo. . .	2, 263	7	4,5	2	0, 358	0, 034	10,5	5,6
»	» 1 o/oo....	2, 135	11,5	5,5	2	0, 360	0, 038	9,4	6
»	» 5 o/oo....	2, 915	9	6	3	0, 452	0, 048	10,5	6,4
Acide malique	0,5 o/oo....	2, 700	9,5	5	3	0, 468	0, 048	9,7	9
»	» 1 o/oo....	2, 995	9,5	5	3	0, 443	0, 037	11,9	6
»	» 5 o/oo....	2, 460	11	7,5	2				5,25
Eau.....		2, 360	10	4,5	3	0, 395	0, 041	9,6	4,5

Nous indiquons plus loin, dans un chapitre spécial, quelles sont les différences d'ordre anatomique qui accompagnent les différences précédentes, mais nous pouvons signaler, dès maintenant, que nous avons réussi à déceler la présence de l'acide tartrique dans certaines régions du végétal et à constater que cette présence amène la disparition d'une quantité notable d'amidon. Selon toute vraisemblance, cet amidon a été transformé en sucre, puisque le phénomène coïncide avec l'augmentation du glucose.

En tous cas, aux divers points de vue où nous nous plaçons plus spécialement en ce moment, nous voyons par le tableau précédent que la germination des graines de courge est considérablement favorisée par la plupart des solutions employées. L'acide le plus efficace est l'acide tartrique dont les meilleures concentrations sont 0,5 et 1 o/oo. Viennent ensuite l'acide citrique, dont l'optimum est 1 o/oo, puis l'acide malique. L'influence de l'acide oxalique semble plutôt, par contre, préjudiciable.

Il y a parallélisme entre les variations de poids et celles de la turgescence. Les acides élèvent la proportion d'eau.

L'effet de la solution d'acide tartrique à 0,5 o/oo est des plus remarquables, la récolte en poids frais a été presque triplée et celle des poids secs s'est accrue de moitié.

IV. — **Graines de citrouille.** — Dans une première expérience, des lots de 12 graines sont ensemencées dans du sable de Fontainebleau arrosé avec les solutions suivantes :

Acide tartrique	0,5 o/oo	
»	»	1 » (le lot est double).
»	»	2,5 »
Acide acétique	0,5 »	
»	»	1 »

Huit jours après l'ensemencement, les plantules apparaissent dans les terrines arrosées avec de l'acide acétique à 1 o/oo, quelques jours plus tard, dans les terrines qui ont reçu de l'eau et dans celles où a été apporté de l'acide acétique à 0,5 o/oo,

Nous avons sacrifié les plantes avant la fin de la période germinative. Voici les poids des récoltes totales avec le nombre de plantules développées qui y correspondent :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique	0,5 o/oo	3 gr.	0 gr. 210	14,2
»	» 1 o/oo	20	1 303	15,3
»	» 1 o/oo	15,5	1 255	12,3
»	» 2,5 o/oo	25,5	1 498	17
Acide acétique	0,5 o/oo	15,5	1 195	12,9
»	» 1 o/oo	21	1 800	11,6
Eau.....		15,5	0 933	16,6

		Nombre de plantes	Poids moyen d'une plantule
Acide tartrique	0,5 o/oo	1	3 gr.
»	» 1 o/oo	7	2,8
»	» 1 o/oo	5	3,1
»	» 2,5 o/oo	6	4,2
Acide acétique	0,5 o/oo	6	2,5
»	» 1 o/oo	7	3
Eau		4	3,8

La solution d'acide tartrique à 2,5 o/oo a donc été très favorable à la germination. Le rapport $\frac{A}{E}$ atteint 1,64 pour les récoltes en poids frais, il est 1,60, c'est-à-dire presque aussi élevé pour les récoltes en poids sec. Le poids moyen d'une plantule et la turgescence sont aussi augmentés. Il y a donc avantage à tous égards.

Les solutions à 1 o/oo d'acide tartrique et d'acide acétique ont aussi augmenté la récolte totale, ainsi que le poids sec, mais il n'y a eu élévation ni de la turgescence, ni du poids moyen des plantules.

Ce dernier résultat rend vraisemblable que, pour les graines de citrouille, l'optimum de concentration des solutions acides doit être plus élevé que pour

les autres graines étudiées ; et nous le constaterons, en effet, lorsque nous nous occuperons de l'action de l'acidité intérieure.

Mais dès maintenant, dans une seconde expérience, nous allons étudier l'influence d'un nouvel acide qui sera l'acide sulfurique, et nous chercherons en même temps, avec cet acide et avec l'acide acétique, à reconnaître jusqu'à quelle période de la végétation se prolonge l'influence de l'acidité ainsi fournie à la graine au début de la germination.

Celle-ci s'est effectuée dans du sable siliceux qui a été arrosé avec de l'acide acétique à 1 et à 2,5 o/oo, de l'acide sulfurique à 0,5 o/oo, et, comme essai témoin, de l'eau pure.

Sur dix graines semées, il en a germé 3 dans l'acide acétique à 1 o/oo, 4 dans le même acide à 2,5 o/oo, 5 dans l'acide sulfurique, 2 dans l'eau.

Huit jours après la sortie de terre des plantules, l'une d'elles est prélevée dans chaque terrine, pour le dosage de l'acidité interne ; et les poids de ces plantules montrent les écarts de développement. Toute la partie de la plantule qui résulte du développement de la gemmule a été pesée séparément et desséchée et nous avons obtenu :

		Poids frais d'une plantule	Poids frais gemmule	Poids sec gemmule	F S
Acide acétique	1 o/oo	1 gr. 967	0 gr. 285	0 gr. 050	5,7
»	2,5 o/oo	4 384	1 032	0 150	6,8
Acide sulfurique	0,5 o/oo	3 576	0 333	0 035	9,5
Eau.....		3 990	0 868	0 072	12

Mais nous voulons dès maintenant permettre aux plantes de poursuivre leur développement. Dans ce but, nous avons mis les terrines, au dehors, en pleine terre, dans un endroit bien ensoleillé.

Après quelques jours, le nombre de feuilles est, en moyenne, le suivant pour un pied de chaque terrine :

Acide acétique	1 o/oo.....	11
»	2,5 o/oo.....	8
Acide sulfurique	0,5 o/oo.....	7
Eau		7

Peu à peu, les racines, sortant par les trous des terrines, se ramifient dans le sol.

La floraison s'est produite à la même époque dans les différents lots mais les fleurs ont été plus nombreuses dans les terrines dont les graines avaient absorbé de l'acide acétique, moins nombreuses dans celles qui avaient été arrosées avec de l'acide sulfurique et rares dans le lot témoin.

Evidemment, cette rareté des fleurs dans la terrine arrosée avec de l'eau,

c'est-à-dire sur la plante qui a, en somme, poussé dans des conditions normales, est due à ce que cette plante souffre au début de sa végétation, en germant dans du sable pur, mais le fait que les plantes des autres lots ont été plus vigoureuses démontre bien l'action favorable de l'acide, en établissant précisément que cet acide aide la végétation à surmonter, au début de son développement, les mauvaises conditions du milieu.

Nous n'avions laissé qu'une plante dans chaque terrine. A la fin septembre, il y avait deux fruits sur le pied qui avait reçu de l'acide acétique à 2,5 o/oo, un seulement sur celui qui avait reçu de l'acide sulfurique ; les autres n'ont pas fructifié.

Donc la germination des graines de citrouille dans le sable siliceux arrosé seulement avec de l'eau pure s'effectue bien, mais les plantes qui ont été arrosées avec des solutions acides sont bien plus robustes que les plantes témoins, la floraison est aussi plus abondante ainsi que la fructification, celle-ci semblant surtout favorisée par l'acide acétique à 2,5 o/oo et l'acide sulfurique à 0,5 o/oo.

De toutes nos solutions, la plus favorable a été celle d'acide acétique à 2,5 o/oo, ce qui confirme l'observation faite, dans la première expérience, sur la nécessité d'employer des doses assez fortes pour les graines de citrouille.

Notons encore, qu'en aucun cas, ici, les acides n'ont provoqué une augmentation de la teneur en eau.

V. — **Graines de pommier.** — Les lots se composent chacun de 5 grammes de graines.

Il était tout indiqué d'essayer l'influence de l'acide malique, puisque cet acide est contenu dans les pommes. Les concentrations ont été 0,5 o/oo et 2,5 o/oo.

L'ensemencement a été fait au mois d'avril dans les conditions habituelles.

Vingt jours après l'ensemencement, les plantules apparaissent dans tous les pots, mais, tandis qu'elles sont nombreuses et grêles dans la terre arrosée avec de l'eau pure, elles sont peu nombreuses et grêles dans la terrine arrosée avec de l'acide malique à 2,5 o/oo, et peu nombreuses mais fortes dans les terrines qui ont reçu 0,5 o/oo et 1 o/oo de cet acide. On aurait donc, à ce moment, tendance à croire que l'acide malique a été favorable à la germination des graines les plus résistantes, mais a entravé, au contraire, celle des graines plus faibles. Telle n'est pas l'explication, car un peu plus tard, les plantules sont, en somme, aussi nombreuses dans tous les pots, et toutes celles qui se trouvent en présence d'acide malique à 0,5 et 1 o/oo sont toujours plus vigoureuses. L'acide aurait donc retardé un peu pour quelques individus, le début de la germination, mais ce n'est là qu'un effet tout momentané et, en

définitive, l'influence de cet acide, à ces deux concentrations de 0,5 et 1 o/oo, est favorable.

Nous prélevons alors un nombre égal de plantes dans chaque terrine, et nous trouvons comme résultats :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide malique 0,5 o/oo	0 gr. 717	0 gr. 088	8,1
» » 1 »	0 630	0 082	7,6
» » 2,5 »	0 655	0 082	7,9
Eau.....	0 522	0 057	9,6

Pendant ces recherches, vingt nouveaux jours se sont passés. Nous arrosons alors maintenant les terrines avec la solution de Knop, pour permettre aux plantes d'atteindre un développement plus complet en milieu acide; et, deux semaines plus tard, les plantules sont sacrifiées. Nous trouvons, pour 30 plantes :

	Poids	Nombre de feuilles	Longueur plante
Acide malique 0,5 o/oo	4 gr. 600	3 ou 4	14 cm.
» » 1 »	4 265	3	11 cm.
» » 2,5 »	3 576	2 ou 3	11 cm.
Eau.....	2 740	1 ou 2	13 cm.(racines plus longues)

Ainsi, les solutions acides ont provoqué, au début, un léger retard dans la germination, mais les plantules ainsi traitées sont devenues plus vigoureuses.

La récolte en poids montre bien que l'acide malique est favorable. Son optimum est 0,5 o/oo, la récolte étant alors 1,67 fois la récolte témoin. Viennent ensuite les solutions à 1, puis à 2,5 o/oo.

L'acide malique absorbé amène une élévation du poids sec, mais, contrairement à ce qui se produit d'ordinaire, ne provoque pas une augmentation de la proportion d'eau intérieure. Comme nous avons déjà fait la même observation avec les graines de tomate, cela indiquerait que, dans quelques cas au moins, cet acide malique disparaîtrait rapidement — et c'est pourquoi il n'augmenterait pas la turgescence — et serait donc utilisé comme aliment.

Résumé général. — La germination des graines de fruits charnus, si nous entendons par là l'accroissement plus ou moins rapide des plantules, semble, très généralement, favorisée par une certaine acidité du milieu environnant, car nous avons obtenu l'accélération de cette germination avec tous les acides que nous avons étudiés, aussi bien les acides organiques que les acides minéraux, à condition que les doses fussent convenables. Ces

acides ont été les acides citrique, malique, tartrique, oxalique, acétique, chlorhydrique et sulfurique.

II. — Cependant l'acide le plus favorable pour une espèce donnée n'est pas celui qui conviendra le mieux pour une autre. Ainsi l'acide oxalique, qui est le plus avantageux pour la germination des graines de tomate, produit de moins bons effets que l'acide tartrique sur les graines de courge.

III. — Les concentrations optima ne sont pas, non plus, les mêmes pour chaque espèce; cependant, les titres des solutions qui ont donné, le plus souvent, les meilleurs résultats oscillent entre $\frac{5}{10.000}$ et $\frac{25}{10.000}$.

IV. — Ce plus rapide accroissement des jeunes plantes n'est pas, d'ailleurs, toujours en rapport avec une augmentation de turgescence. L'acide malique, par exemple, n'a pas augmenté la teneur en eau des graines de pommier; et aucun acide n'a accru cette même teneur dans les plantules de citrouille.

V. — L'action bienfaisante des acides s'affirme donc aussi par l'accroissement de la récolte sèche à la fin de la période germinative.

VI. — Cette action est, au reste, beaucoup plus énergique sous l'influence des acides organiques que sous celle des acides minéraux.

VII. — Entre tous les acides organiques que nous avons étudiés, ce serait l'acide malique dont l'effet, à ce point de vue, serait toujours le plus rapide. Remarquons que c'est cet acide qui, à la lumière et à la chaleur, se décompose le plus facilement en dehors de la plante.

VIII. — D'une expérience que nous avons citée, il résulterait que l'âge peut être un facteur qui intervient dans l'effet exercé par ces acides, du moins au moment du réveil de la graine. Les vieilles graines ne seraient pas aussi rapidement influencées par l'acide que les jeunes, cette influence ne se fait sentir qu'un peu plus tard.

IX. — Les sels des acides actifs augmentent la turgescence mais ne modifient pas le poids sec.

X. — Parmi les substances qui peuvent ainsi influencer sur la germination, il faut certainement compter quelques-unes de celles qui se trouvent dans la pulpe des fruits charnus, puisque nous avons vu le jus de cette pulpe accélérer le développement.

XI. — L'action des acides se prolonge pendant une grande partie de la durée du développement de la plante, car les pieds provenant de graines qui ont germé en milieu acide fleurissent et fructifient plus abondamment que les autres.

2° GRAINES DE FRUITS A PÉRICARPE SEC

Après nous être convaincue que, parmi les substances entrant dans la composition des baies ou des drupes, les acides très dilués sont favorables à la germination des graines de fruits charnus, nous avons voulu savoir si les graines provenant de fruits à péricarpe sec profiteraient également de ces acides.

Dans ce but, nous avons fait germer en milieu acide des graines appartenant aux familles les plus diverses : Légumineuses (lupin blanc, fèves, lentilles, haricots et sojas); Graminées (blé et maïs); Crucifères (colza); Linacée (lin); Urticacée (chanvre); Polygonée (oseille).

I. — **Graines de lupin blanc.** — Comme pour les graines précédemment étudiées, la germination a été obtenue dans des terrines remplies de sable de Fontainebleau. Les semences sont plongées pendant quarante-huit heures dans les liquides qu'elles retrouveront respectivement dans le milieu extérieur pendant la germination. Ce sont des solutions à 0,5 o/oo d'acide tartrique et d'acide citrique et l'eau de chaux à la dose de 50 o/o. Nous pourrions ainsi comparer la germination en milieu alcalin et en milieu acide.

L'ensemencement a été fait le 23 mai ; le 30, sept graines ont germé dans le sable arrosé avec de l'eau, quatre en présence de l'acide tartrique à 0,5 o/oo, quatre en présence de l'acide citrique, une seulement dans le sable arrosé d'eau de chaux.

Le 4 juin, le nombre des plantules qui se sont développées est de quatorze avec l'eau, six avec l'acide tartrique, douze avec l'acide citrique, et trois avec l'eau de chaux. Le même jour, une plante est prélevée dans chacun des lots. Nous avons mesuré la longueur de l'axe hypocotylé et celle des racines, déterminé le nombre de feuilles, le poids de la plante et l'acidité intérieure.

	Poids	Axe hypocotylé	Racines	Nombre de feuilles
Acide tartrique.. 1	gr. 902	6 cm. 7	6 cm. 5	0
Acide citrique... 1	652	6 5	6	1
Eau de chaux... 1	030	6	5	0
Eau 2	372	10	10	2

Le 9 juin, nous déterminons de nouveau les poids de deux plantes qui ont été arrosées avec l'eau et avec les acides, mais, comme leur nombre n'est pas suffisant pour nous permettre de généraliser les résultats, nous préférons établir le rapport du poids des plantules au poids des cotylédons des graines dont elles sont issues. Nous pouvons ainsi comparer les vitesses de la germination dans les différents cas.

	Poids frais des plantules	Poids frais des cotylédons	<u>Poids des plantules</u> <u>Poids des cotylédons</u>
Acide tartrique.....	3 gr. 100	1 gr. 200	2,58
Acide citrique.....	2 815	1 113	2,52
Eau.....	3 670	1 175	3,12

	Poids sec des plantules	Poids sec des cotylédons	<u>Poids des plantules</u> <u>Poids des cotylédons</u>
Acide tartrique.....	0 gr. 168	0 gr. 083	2,02
Acide citrique.....	0 173	0 083	2,08
Eau.....	0 187	0 078	2,39

	<u>Poids frais</u> <u>Poids sec</u>
Acide tartrique.....	17
Acide citrique.....	15
Eau.....	18

Les acides tartrique et citrique, à la dose de 0,5 o/oo, sont donc nuisibles à la germination des graines de lupin ; le résultat est ainsi bien différent de tous ceux que nous obtenions avec les graines de fruits charnus.

Et non seulement les plantules élevées en milieu acide sont moins riches en substance sèche et en eau que les autres, mais la turgescence est même moindre avec l'acide citrique, et c'est ce qui explique que cet acide soit plus défavorable que l'acide tartrique.

Mais, si les acides gênent le développement des graines de lupin, on pourrait penser que, par contre, l'alcalinité du milieu va être favorable ; or, nous voyons, au contraire, que les plantes se développent, également, plus mal dans le sable arrosé d'eau de chaux étendue que dans un milieu simplement neutre.

II. — Graines de lentille. — Les graines sont semées dans du sable arrosé avec des solutions à 0,5 o/oo, 1 o/oo et 2,5 o/oo d'acide citrique, et leur germination est comparée à celle qui s'effectue dans du sable arrosé avec de l'eau pure.

Il semble y avoir, au début, une légère avance pour les plantules développées en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo. C'est, du reste, ce qu'indiquent les pesées effectuées dix jours après l'ensemencement sur 15 plantules séparées de leurs cotylédons, dont le poids a été déterminé à part. Nous n'avons pas tenu grand compte du poids absolu des plantules, mais plutôt du rapport de ce poids à celui des graines correspondantes, rapport qui nous semble mieux exprimer la vitesse et l'activité de la germination.

	Poids frais des plantules	Poids frais des cotylédons	<u>Poids plantules</u> Poids cotylédons
Acide citrique 0,5 o/oo	1 gr. 197	0 gr. 659	1,81
» » 1 o/oo	1 185	0 821	1,44
» » 2,5 o/oo	1 165	0 812	1,43
Eau.....	1 210	0 780	1,55

	Poids sec des plantules	Poids sec des cotylédons	<u>Poids plantules</u> Poids cotylédons
Acide citrique 0,5 o/oo	1 gr. 110	0 gr. 185	0,59
» » 1 o/oo	0 097	0 247	0,39
» » 2,5 o/oo	0 120	0 278	0,43
Eau.....	0 142	0 260	0,54

Le développement — exprimé par les rapports des poids frais et sec des plantules aux poids frais et sec des cotylédons correspondants — est un peu activé par la solution acide à 0,5 o/oo. Les solutions plus concentrées retardent, au contraire, ce développement.

Un peu plus tard, nous avons sacrifié de nouveau 15 plantules, mais à cette époque, les réserves étant à peu près épuisées, nous n'avons plus pesé les cotylédons. Nous avons seulement comparé les poids des plantules dans les différents lots, poids que nous transcrivons ci-dessous :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique 0,5 o/oo	2 gr. 599	0 gr. 201	12,8
» » 1 o/oo	2 341	0 187	12,4
» » 2,5 o/oo	2 477	0 198	12,5
Eau.....	2 341	0 198	11,8

Il apparaît ainsi que l'acide citrique à 0,5 o/oo est toujours favorable ; de plus, les doses supérieures, qui ont été nuisibles au début de la germination, commencent à devenir avantageuses pour la plantule dont elles favorisent l'accroissement en poids.

Le rapport $\frac{A}{E}$, des récoltes en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo, qui est la solution optima, comparées aux récoltes avec l'eau pure, étant 1,11 en ce qui concerne les poids frais, 1,08 en ce qui concerne les poids secs, il convient de noter que, si la plantule utilise les solutions acides, elle n'en retire pas un bénéfice très considérable.

III. — **Graines de fève.** — Nous avonsensemencé, le 13 avril, des graines de *Faba vulgaris* dans du sable arrosé avec des solutions d'acide citrique à 0,5, 1, 2,5 et 5 o/oo, ainsi que dans du sable qui n'a reçu que de l'eau pure.

Les gemmules sont apparues d'abord dans les terrines qui ont été arrosées avec la solution acide la plus concentrée. Quelques jours après leur sortie de terre, nous avons prélevé trois plantules dans chaque lot et nous les avons pesées à l'état frais et sec, après en avoir détaché les cotylédons. Nous donnons ci-dessous les variations de poids :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique	0,5 o/oo	11 gr. 630	1 gr. 085	10,7
»	1 o/oo	10 753	1 095	9,8
»	2,5 o/oo	12 945	1 030	12,5
»	5 o/oo	16 505	1 235	13,3
Eau.....		11 435	1 110	10,3

Les plantules les plus vigoureuses sont celles provenues des cultures les fortement acidifiées. Les différences se sont maintenues pendant toute la période germinative ; les écarts de développement se sont même encore accentués.

Le 9 mai, la tige, qui a 16^{cm} 4 en présence de la solution à 0,5 o/oo, 15^{cm} 1 en présence de l'acide à 1 o/oo, atteint 33 centimètres dans le sable arrosé avec l'acide citrique à 2,5 o/oo et 53 centimètres dans la terrine qui a reçu 5 o/oo du même acide. La plante témoin n'a que 18^{cm} 4. On voit quelle accélération de croissance ont provoqué les solutions les plus concentrées d'acide citrique.

L'accroissement en poids a été modifié de la même manière. Voici les résultats des pesées de 6 plantules :

		Poids frais				Poids sec	$\frac{F}{S}$
		Plante entière	Tiges	Racines			
Acide citrique	0,5 o/oo	23 gr. 665	17 gr. 020	6 gr. 645	2 gr. 345	10	
»	1 o/oo	20 490	13 500	6 984	2 214	9,2	
»	2,5 o/oo	45 400	34 450	10 960	3 290	13,8	
»	5 o/oo	58 765	51	7 765	3 815	15,4	
Eau.....		25 715	18 250	7 465	2 375	10,8	

La planche I montre l'état du développement dans les différentes cultures.

La solution d'acide citrique à 5 o/oo est extrêmement avantageuse ; elle a plus que doublé la récolte fraîche, puisque le rapport $\frac{A}{E}$ est 2 ; elle a aussi

fortement accru le poids sec, puisque le rapport $\frac{A}{E}$, à cet autre point de vue, est 1,6.

La dose de 2,5 o/oo est encore très favorable ; elle donne une récolte en poids frais qui est de 1,7, par rapport à la récolte témoin. Le rapport des récoltes sèches est de 1,3.

Par contre, les solutions d'acide citrique faiblement concentrées (0,5 et 1 o/oo) sont nuisibles à la germination de nos graines.

IV. — **Graines de soja.** — Nous avons fait germer en présence de solutions d'acide tartrique à 0,5, 1, 2,5 et 5 pour 1000 des graines de *Soja hispida*, les conditions d'expérience étant les mêmes que précédemment.

L'ensemencement a été fait le 13 décembre ; les plantules n'ont pas tardé à lever, et le 28 du même mois, les cotylédons ont commencé à verdir. Nous avons, à cette époque, prélevé dix plantes dans chacun des lots ; nous avons d'abord pesé l'ensemble, puis nous avons déterminé séparément les poids des cotylédons et celui du reste des plantules. Nous avons opéré de même, ensuite, pour la détermination des poids secs :

	Poids frais de 10 germinations	Poids frais des cotylédons	Poids frais du reste des plantules	Poids plantules Poids cotylédons
A. tartrique 0,5 o/oo	5 gr. 737	2 gr. 910	2 gr. 827	0,97
» 1 o/oo	5 045	2 955	2 090	0,70
» 2,5 o/oo	4 610	2 766	1 845	0,66
» 5 o/oo	3 960	2 555	1 405	0,54
Eau.....	5 045	2 860	2 185	0,76

	Poids sec des cotylédons	Poids sec des plantules	$\frac{F}{S}$	
			Cotylédons	Plantules
A. tartrique 0,5 o/oo	0 gr. 900	0 gr. 265	3,2	10,6
» 1 o/oo	0 968	0 223	3	9,3
» 2,5 o/oo	0 883	0 188	3,3	9,8
» 5 o/oo	0 995	0 183	2,5	7,6
Eau.....	0 958	0 238	2,9	9,1

Ces chiffres montrent bien que la solution d'acide tartrique à 0,5 o/oo a augmenté le poids frais et le poids sec des plantules, et qu'elle a activé les phénomènes chimiques propres de la germination, puisque les cotylédons ont perdu plus de substance sèche, pendant que les plantules correspondantes en gagnent d'autant plus rapidement.

Les solutions plus concentrées du même acide deviennent nuisibles à partir de la dose 1 o/oo : il y a diminution du poids sec et de la teneur en eau des plantules, et cette diminution est d'autant plus forte que la solution acide employée est plus concentrée.

Les plantules continuent à se développer, elles sont un peu plus grandes dans le sable qui a reçu la solution à 0,5 o/oo, que nous pouvons dès maintenant considérer comme solution optima.

Une semaine plus tard, nous avons recommencé la série des pesées et en voici les résultats :

		Poids frais de 10 germinations	Poids frais des cotylédons	Poids frais des plantules	Poids sec des cotylédons
Acide tartrique	0,5 o/oo	8 gr. 150	3 gr. 305	4 gr. 845	0 gr. 818
»	» 1 o/oo	5 555	2 520	3 035	0 652
»	» 2,5 o/oo	5 170	2 600	2 570	0 750
»	» 5 o/oo	4 850	2 750	2 100	0 855
Eau.....		6 350	3 045	3 305	0 852

		Poids sec des plantules	Poids sec plantules	$\frac{F}{S}$	
			Poids sec cotylédons	Plantules	Cotylédons
Acide tartrique.	0,5 o/oo	0 gr. 398	0,48	12,1	4
»	» 1 o/oo	0 273	0,41	11,1	3,8
»	» 2,5 o/oo	0 263	0,35	9,7	3,4
»	» 5 o/oo	0 235	0,27	8,9	3,2
Eau.....		0 328	0,38	10	3,5

On voit par l'examen de ce tableau que la turgescence des plantules est augmentée par l'effet des solutions à 0,5 et à 1 pour 1.000. Le poids sec des plantules n'est accru que par la première de ces solutions, qui est définitivement la seule favorable à la germination des sojas.

V. — **Graines de haricot.** — Des terrines de sable arrosées, les unes avec des solutions à 0,5 o/oo, 1 o/oo, 2,5 o/oo et 5 o/oo d'acide citrique, une autre — qui constitue une culture témoin — avec de l'eau, reçoivent chacune 18 haricots noirs.

Les graines témoins germent les premières, les autres ont un retard d'un jour.

Un mois environ après l'ensemencement, les plantules mesurent 10 cm. 5 en présence de la solution à 0,5 o/oo, 9 cm. 5 en présence des solutions à 1 et à 2,5 o/o, 11 centimètres dans le sable arrosé avec l'acide à 5 o/oo, et 16 centimètres dans la culture témoin.

Ces chiffres indiquent bien déjà que la croissance a été retardée par l'action de l'acide citrique. Nous en avons une autre preuve par les variations de poids, ci-dessous, de quatre plantules prélevées dans chacun des lots.

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique	0,5 o/oo.....	4 gr. 270	0 gr. 443	9,6
»	» 1 o/oo.....	3 315	0 512	6,4
»	» 2,5 o/oo.....	4 138	0 525	7,8
»	» 5 o/oo.....	4 525	0 492	9,1
Eau.....		6 635	0 512	12,9

Pour ces graines de haricot, les solutions acides ont donc diminué très sensiblement la turgescence des plantules ; leur influence a été toutefois

moindre sur le développement en matière sèche. La solution à 2,5 o/oo a même été très légèrement avantageuse à ce dernier point de vue.

Nous donnons encore les valeurs du rapport $\frac{A}{E}$ dans les différentes solutions d'acide citrique :

			Récolte fraîche	Récolte sèche
Acide citrique	à	0,5 o/oo.....	0,64	0,86
»	»	» 1 o/oo.....	0,49	1
»	»	» 2,5 o/oo.....	0,62	1,02
»	»	» 5 o/oo.....	0,68	0,96

Ces rapports montrent bien que l'emploi des acides pendant la germination des haricots est à éviter, leur influence étant nettement défavorable.

En résumé, si nous comparons les résultats que nous ont fournis les cultures de ces diverses Légumineuses, nous remarquons une diversité au moins inattendue dans l'action d'un même acide, l'acide citrique, sur la germination de plusieurs de ces graines. Tandis que la germination du lupin blanc est entravée par les solutions faiblement concentrées, celle des lentilles est légèrement favorisée, des doses plus fortes seules deviennent nuisibles. Avec les fèves, ce sont, au contraire, les concentrations élevées qui sont le plus favorables, les solutions diluées étant franchement retardatrices. Enfin toutes les doses employées diminuent la récolte des haricots. Nous ne retrouvons donc plus là l'uniformité des résultats que nous avaient donnés nos expériences sur les graines de fruits charnus.

VI. — **Grains de blé.** — L'ensemencement a été fait dans du sable arrosé avec des solutions à 0,5 et 1 o/oo d'acide citrique, de l'acide oxalique à 0,5 o/oo et une solution à 1 o/oo d'acide tartrique.

Chaque lot était composé de 8 grammes de graines. L'acide oxalique a tout d'abord amené un léger retard dans l'apparition des plantules. A part cela, on ne remarque pas de très grands écarts de développement.

Vingt plantules ont été sacrifiées quelques jours après leur sortie de terre. La graine a été séparée de la partie végétative et nous avons déterminé les poids des plantules des différents lots :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique	0,5 o/oo	3 gr. 763	0 gr. 827	4,54
»	» 1 o/oo	3 605	0 760	4,74
» oxalique	0,5 o/oo	3 605	0 820	4,39
» tartrique	1 o/oo	3 435	0 835	4,11
Eau.....		3 477	0 777	4,47

Ce tableau nous montre que les solutions acides ont eu surtout pour effet

d'augmenter le poids sec des plantules ; la teneur en eau a été très peu modifiée.

Quatre jours plus tard, les poids de douze plantules étaient respectivement 2 gr. 082 en présence de la solution à 0,5 o/oo d'acide citrique, 1 gr. 837 en présence du même acide à 1 o/oo, 1 gr. 583 dans le sable arrosé avec l'acide oxalique, 1 gr. 817 en présence de l'acide tartrique; les plantules témoins pesaient à la même époque 1 gr. 781. Les différences observées dans le port des plantules sont en faveur de celles qui se sont développées en présence des acides citrique et tartrique. Elles ont été surtout nettes au début de la germination et ont semblé diminuer ultérieurement au cours du développement.

Voici les résultats de pesées effectuées vingt jours après l'ensemencement des graines :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique à 0,5 o/oo	1 gr. 704	0 gr. 462	3,6
» » » 1 o/oo	1 303	0 390	3,3
» oxalique » 0,5 o/oo	1 403	0 396	3,5
» tartrique » 1 o/oo	1 521	0 410	3,7
Eau... ..	1 506	0 400	3,7

Les acides sont donc sans action sur la proportion d'eau des plantules ; mais il n'en est pas de même pour les poids secs. L'acide citrique à 0,5 o/oo et l'acide tartrique à la dose de 1 o/oo augmentent ce poids et doivent donc être considérés comme des agents favorables à la germination et au développement du blé.

Les rapports $\frac{A}{E}$ des récoltes en poids frais ont été : 1,13 avec l'acide citrique à 0,5 o/oo, 1 avec l'acide tartrique à 1 o/oo ; ils sont, pour les récoltes sèches, 1,15 en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo, 1,02 avec l'acide tartrique. Avec les autres solutions acides, par contre, les mêmes rapports ont été inférieurs à l'unité ; et ils indiquent, par suite, que ces acides sont nuisibles à la germination.

Dans une seconde expérience, nous avons recherché de nouveau l'influence exercée par l'acide citrique sur la germination du blé, mais cette fois nous avons employé un plus grand nombre de solutions, de façon à connaître l'influence respective de plusieurs autres concentrations. De plus, nous avons étudié comparativement l'action d'une solution basique, l'eau de chaux, étendue d'une fois son volume d'eau.

Les plantules apparaissent tout de suite plus vigoureuses en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo, c'est ce que nous avons déjà observé au cours des recherches précédentes. Les solutions plus concentrées, si elles n'ont point

provoqué d'accélération dans le développement, ne l'ont toutefois pas retardé. Il n'en est pas de même pour l'eau de chaux, qui, à cette période du moins, semble avoir une influence nuisible sur la croissance.

Nous donnons ici les poids de quinze plantules prélevées huit jours après l'ensemencement. Le grain de blé est détaché des plantules avant la pesée.

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique 0,5 o/oo	2 gr 920	0 gr. 698	4,2
» » 2,5 o/oo	2 570	0 623	4,1
» » 5 o/oo	2 300	0 618	3,7
Eau de chaux.....	2 400	0 633	3,6
Eau.....	2 518	0 632	3,9

L'examen de ce tableau démontre que le poids frais et le poids sec se sont accrus en présence de l'acide à 0,5 o/oo, tandis que les autres solutions acides font diminuer le poids sec. L'eau de chaux amène une diminution de la teneur en eau des plantules.

Les seules différences que l'on puisse observer au point de vue des caractères extérieurs sont un développement un peu plus avancé des plantules qui ont germé en présence de l'acide à 0,5 o/oo, et un retard assez sensible de celles qui ont reçu de l'eau de chaux. Ces modifications de l'accroissement s'expliquent par les variations de la turgescence dont nous avons transcrit les valeurs dans le tableau qui suit :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique 0,5 o/oo	3 gr. 922	0 gr. 713	5,5
» » 2,5 o/oo	3 157	0 653	4,8
» » 5 o/oo	3 745	0 740	5
Eau de chaux.....	3 137	0 645	4,8
Eau.....	3 355	0 650	5,1

A partir de cette époque, les plantules arrosées avec la solution d'acide citrique à 5 o/oo prennent une nouvelle vigueur, et atteignent presque la taille de celles qui se développent en présence de la solution à 0,5 o/oo dont l'avance date du début de la germination. Les poids frais et secs des diverses plantules indiquent bien ces variations du développement :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique 0,5 o/oo	3 gr. 603	0 gr. 445	8,1
» » 2,5 o/oo	2 519	0 486	5,1
» » 5 o/oo	2 993	0 525	5,7
Eau de chaux.....	2 465	0 446	5,5
Eau.....	2 168	0 440	4,9

On peut remarquer que, si le poids frais et la turgescence des plantules arrosées avec la solution d'acide à 0,5 o/oo sont toujours bien plus élevés que dans tous les autres lots, le poids sec est surtout favorisé par les solutions acides les plus concentrées. C'est donc l'inverse de ce qui se produisait pendant les premiers jours de la germination.

On pourrait, dès lors, supposer que l'optimum d'acidité augmente au cours du développement des plantules ; il ne nous semble pourtant pas que ce soit là l'explication du phénomène, car nous voyons en même temps les plantules qui se sont développées en milieu alcalin reprendre aussi de la vigueur à la fin de la période germinative. Nous croyons plutôt que, à cette époque, les réserves de la graine s'épuisant, la plantule passe par une crise d'inanition qui est atténuée par la présence, dans le milieu, de corps susceptibles d'alimenter le végétal.

L'influence qu'exercent les acides minéraux sur le développement des mêmes plantules de blé a été recherchée dans une troisième série d'expériences. Les acides que nous avons choisis pour cette étude sont : l'*acide chlorhydrique* et l'*acide sulfurique*, mais, MM. Claudel et Crochetelle ayant établi qu'une solution à 1 o/oo d'acide sulfurique arrête la germination de la plupart des graines, nous avons employé des concentrations un peu plus faibles.

Nous avons choisi pour l'acide sulfurique les deux solutions suivantes : la première est neutralisée par 0 volume 18 de liqueur décinormale de soude, ce qui correspond théoriquement, puisque la molécule de SO_4H^2 pèse 98 grammes, et qu'elle est bivalente, à une concentration de $\frac{98 \times 0,18}{2 \times 10} = 0,882$ pour 1000. La seconde solution résulte du dédoublement de la première ; elle est par conséquent de 0,441 pour 1000.

Les solutions d'acide chlorhydrique sont telles qu'un volume de la première soit neutralisé par 0 volume 1 de liqueur décinormale, un volume de la seconde par 0 volume 05 de la même liqueur.

La molécule-gramme de HCl étant de 36,5, les concentrations sont de 0,365 et de 0,182 o/oo.

L'ensemencement a été fait le 18 février. Le 22, les plantules sont apparues dans tous les lots, mais, à partir de cette date, les solutions d'acide chlorhydrique, seules, ont paru activer le développement car, le 26 février, dix plantules ont été prélevées, et après que les graines ont été séparées, les poids frais et sec de ces jeunes plantes ont été ceux-ci :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide sulfurique	à 0,88 o/oo	0 gr. 955	0 gr. 098	9,74
»	» 0,44 o/oo	1 060	0 119	8,90
Acide chlorhydrique	0,36 o/oo	1 200	0 128	9,37
»	» 0,18 o/oo	1 138	0 113	10
Eau.....		1 098	0 110	9,98

Les solutions d'acide chlorhydrique ont donc bien, seules, augmenté le poids frais et le poids sec des plantules, alors que l'action de l'acide sulfurique a, au contraire, provoqué une diminution de la teneur en eau. Le 18 mars, dix autres plantules ont été pesées, après que les graines en ont été encore détachées, et les variations de poids dans les différents lots ont été :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide sulfurique	à 0,88 o/oo	1 gr. 380	0 gr. 165	8,31
»	» 0,44 o/oo	1 465	0 155	9,45
Acide chlorhydrique	» 0,36 o/oo	1 945	0 218	8,92
»	» 0,18 o/oo	1 780	0 195	9,12
Eau.....		1 725	0 190	9,07

Les poids frais et les poids secs des plantules qui se sont développées en présence de l'acide chlorhydrique sont toujours plus élevés que ceux des plantules témoins ; mais c'est encore le phénomène inverse qui se produit avec l'acide sulfurique dont l'influence sur la germination du blé est décidément défavorable. Remarquons cependant qu'elle ne semble pas aussi pernicieuse que l'admettaient MM. Claudel et Crochetelle et M. Sigmund, puisque, dans nos expériences, les plantules, bien que retardées dans leur croissance, se développent très normalement, sans manifester aucun signe de souffrance.

Voici, maintenant, les résultats d'une troisième série de pesées effectuées, le 6 mars, sur des lots de dix plantules prises dans chacune des terrines :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide sulfurique.....	à 0,88 o/oo	1 gr. 203	0 gr. 222	8,5
»	» 0,44 o/oo	1 150	0 193	9
Acide chlorhydrique.....	» 0,36 o/oo	2 585	0 253	10,2
»	» 0,18 o/oo	2 370	0 225	10,5
Eau.. ..		2 067	0 220	9,4

Les résultats continuent à être dans le même sens que précédemment. L'acide sulfurique ne diminue pas très sensiblement le poids sec des plantules, son influence est plus fâcheuse au point de vue de la teneur en eau.

L'acide chlorhydrique, au contraire, augmente à la fois la turgescence et le poids sec des plantules de blé, et il est, par suite, nettement favorable à la germination.

VII. — **Grains de maïs.** — Ces grains ont été mis à germer en présence de l'acide malique et de l'acide citrique aux concentrations de 0,5 o/oo, 1 o/oo et 2,5 o/oo.

L'ensemencement a été fait le 30 janvier, et ce n'est que vers le 17 février que les plantules sont sorties de terre dans les diverses terrines, mais sans qu'il n'y ait eu, pour aucune, à ce moment d'avance notable. Par contre, après quelques jours, les plantules qui se trouvent en milieu acide sont devenues nettement plus robustes que celles qui se développent dans le sable arrosé d'eau.

Cinq de ces plantules ont été, en effet, prélevées, le 21 février, dans chacune des cultures, et voici le poids des albumens et celui des plantules correspondantes :

		Poids frais des plantules	Poids frais des albumens	Poids sec des plantules	Poids sec des albumens
Acide malique à 0,5 o/oo	2 gr.	198	1 gr. 712	0 gr. 340	0 gr. 817
» » 1 o/oo	2	548	1 748	0 325	0 673
» » 2,5 o/oo	1	680	1 790	0 268	0 825
Acide citrique à 0,5 o/oo	2	380	1 705	0 342	0 817
» » 1 o/oo	1	805	1 805	0 290	0 847
» » 2,5 o/oo	1	780	1 655	0 305	0 757
Eau.....	1	700	1 947	0 288	0 913

	Poids sec des plantules Poids sec des albumens	$\frac{F}{S}$	
		Plantules	Albumens
Acide malique à 0,5 o/oo	0,416	6,4	2
» » 1 o/oo	0,482	7,8	2,5
» » 2,5 o/oo	0,324	6,2	2,1
Acide citrique à 0,5 o/oo	0,418	6,9	2,4
» » 1 o/oo	0,342	6,2	2,1
» » 2,5 o/oo	0,402	5,8	2,1
Eau.....	0,315	5,9	2,1

Le poids de la plantule, par rapport à celui de l'albumen correspondant, étant plus élevé en présence des solutions acides, il faut en déduire que les acides malique et citrique ont accéléré la migration des réserves de cet albumen. On peut constater, en même temps, une augmentation de la teneur en eau.

L'avance acquise pendant les premiers jours du développement a, du reste, été conservée jusqu'à la fin de la période germinative ; les feuilles sont plus grandes et plus larges, l'ensemble de la plante est plus robuste dans le sable arrosé avec les acides.

Le 3 mars, nous avons déterminé les poids frais et secs des plantules,

mais nous avons abandonné les albumens, car les réserves étaient presque entièrement épuisées.

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide malique à 0,5 o/oo	3 gr. 200	0 gr. 430	7,4
» » 1 o/oo	4 600	0 500	9,2
» » 2,5 o/oo	2 088	0 381	5,4
Acide citrique à 0,5 o/oo	4 782	0 508	9,4
» » 1 o/oo	3 315	0 462	7,1
» » 2,5 o/oo	3 215	0 370	8,6
Eau.....	3 190	0 488	6,5

L'augmentation de poids frais est toujours aussi nette qu'au commencement de la germination, mais il n'y a eu accroissement de substance sèche, par rapport aux plantules témoins, qu'avec l'acide citrique à 0,5 o/oo et l'acide malique à 1 o/oo.

Le rapport $\frac{A}{E}$ est, en effet, pour les récoltes fraîches : 1,49 avec l'acide citrique à 0,5 o/oo ; 1,03 avec le même acide à 1 o/oo, avec l'acide citrique à 2,5 o/oo et avec 0,5 o/oo d'acide malique ; puis 1,44 avec l'acide malique à 1 o/oo ; et il est inférieur à l'unité avec 2,5 o/oo du même acide. Ce même rapport $\frac{A}{E}$ est, pour les récoltes sèches : 1,04 avec l'acide citrique à 0,5 o/oo ; 1,02 avec l'acide malique à 1 o/oo, et inférieur à 1 en présence des autres solutions acides.

L'acide malique et l'acide citrique accélèrent donc la germination des grains de maïs, et augmentent la turgescence des plantules, mais il n'y a de gain en poids sec qu'avec 0,5 o/oo d'acide citrique et 1 o/oo d'acide malique, qui peuvent être, dès lors, considérés respectivement comme les concentrations optima.

En résumé, les graines de Graminées semblent très aptes à profiter des acides qui leur sont offerts pendant la germination. La transformation et la migration des réserves est accélérée en présence des solutions de ces acides. Il en résulte une diminution plus rapide du poids sec des organes de réserve et une augmentation parallèle de celui des plantules.

Pour le blé, les solutions d'acide citrique les plus favorables sont d'abord celles qui sont le plus diluées (0,5 o/oo), mais après un certain temps, ce sont plutôt, au contraire, les solutions plus fortes (2,5 et 5 o/oo) qui sont les plus avantageuses au point de vue de l'augmentation de substance sèche.

Les acides minéraux chlorhydrique et sulfurique permettent, l'un et l'autre, la germination, mais l'acide chlorhydrique la favorise nettement, en

accélérant l'accroissement en poids frais et en poids sec des plantules, tandis que l'acide sulfurique diminue l'absorption d'eau, son action étant à peu près nulle sur le poids sec.

Pour le maïs, l'acide citrique et l'acide malique hâtent, à toute dose, la consommation des réserves, mais seules les solutions diluées ont une influence favorable sur le poids sec.

VIII. — Graines de colza. — Les solutions étudiées ont été l'acide oxalique à 0,5 o/oo, l'acide tartrique à 0,5 o/oo et à 1 o/oo. Les graines ont été plongées dans ces dissolutions et, d'autre part, dans l'eau pendant les quarante-huit heures qui ont précédé l'ensemencement. Le sable de chacune des terrines a été arrosé ensuite avec l'une des solutions que nous venons d'indiquer.

Les plantules sortent à la même époque dans les différents lots, mais elles sont plus nombreuses dans le sable qui a été arrosé avec de l'eau pure que dans celui qui a été acidifié. On pourrait en déduire que les acides ont eu, cette fois, une influence fâcheuse sur la germination; remarquons toutefois que, s'ils ont effectivement diminué le nombre de graines germées, leur présence dans le milieu extérieur a eu pour conséquence de donner des plantules bien plus robustes que les plantules témoins.

Quinze jours après l'ensemencement, le poids de vingt plantules était de 0 gr. 993 en présence de l'acide oxalique, de 0 gr. 950 avec l'acide tartrique à 0,5 o/oo et de 1 gr. 210 avec le même acide à 1 o/oo, tandis que le poids de vingt plantules témoins n'était à la même époque que de 0 gr. 920. On voit donc que l'observation que nous avons faite sur l'aspect extérieur des plantules se trouve confirmée par les chiffres qui précèdent. Les plantules ne semblent pas seulement plus développées en présence des acides, elles sont aussi plus pesantes.

Nous donnons ci-dessous les poids frais et secs de 18 plantules sacrifiées quelques jours plus tard ;

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide oxalique à	0,1 o/oo	0 gr. 923	0 gr. 052	17,7
Acide tartrique	0,5 o/oo	0 883	0 050	17,6
»	1, o/oo	1 650	0 060	27,5
Eau..		0 900	0 048	18,7

L'acide tartrique à la dose de 1 o/oo est, comme on le voit, très favorable au développement du colza ; il augmente très notablement le poids sec des jeunes plantes, et son action sur la turgescence est encore plus considérable. Le même acide à la dose de 0,5 o/oo semble inactif, mais la même concentration d'acide oxalique est également avantageuse

Les différences observées dès le début de la germination dans le port des plantules se sont maintenues jusqu'à la fin de la période germinative; et trente jours après l'ensemencement, le poids de vingt-cinq jeunes plantes a été 1 gr. 570 en présence de l'acide oxalique, 1 gr. 320 dans le sable arrosé avec l'acide tartrique à 0,5 o/oo, 2 gr. 080 avec 1 o/oo du même acide et 1 gr. 227 dans la terrine qui n'a reçu que de l'eau pure. Le développement est donc hâté par ces acides, mais répétons que les plantules sont toujours plus nombreuses dans la culture témoin que dans les lots à solutions acides.

Comment interpréter ce phénomène ?

L'acidité crée-t-elle une condition défavorable dont seules les graines admirablement constituées triompheraient, la vigueur des plantules n'étant alors que le résultat d'une sélection ? Ou bien les acides agissent-ils comme stimulants qui bouleversent les graines délicates mais dont les effets sont excellents sur les semences robustes ? Nous émettons ces deux hypothèses vraisemblables sans pouvoir établir quelle est celle qu'il faut admettre et nous ne pouvons, pour l'instant, que constater le fait.

IX. — **Graines de chanvre.** — Nous avons fait germer ces graines dans du sable arrosé avec de l'acide citrique aux doses de 0,5, 1, 2,5 et 5 o/oo.

L'ensemencement ayant été fait le 2 mars, les plantules des terrines arrosées avec l'acide apparaissent le 8, tandis que celles de la culture témoin ont un jour de retard. Le 11 mars, quelques plantules sont prélevées pour l'étude de leur respiration. Bien que les résultats relatifs à cette influence des acides sur le phénomène respiratoire doivent être exposés dans une autre partie de notre travail, disons cependant déjà que le quotient $\frac{CO_2}{O}$ de nos plantules s'élève de 0,60 à 0,66 en présence de l'acide citrique à 5 o/oo, et à 0,76 avec 2,5 o/oo du même acide.

A ces modifications apportées dans les échanges gazeux correspondent d'autres phénomènes physiologiques. La croissance est activée par l'influence des solutions acides ; la taille moyenne des plantules est en effet de 8 cm. 5 en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo, de 9 cm. 5 avec la solution à 1 o/oo ; elle atteint 11 centimètres avec la solution à 5 o/oo et 12 centimètres avec 2,5 o/oo du même acide, alors que les plantules témoins n'ont que 8 centimètres. Le poids des plantules est également accru sous l'influence de ces solutions comme le montre le tableau suivant :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique à 0,5 o/oo	1 gr. 228	0 gr. 132	9,3
» » 1 o/oo	1 253	0 143	8,7
» » 2,5 o/oo	1 400	0 145	9,6
» » 5 o/oo	1 380	0 132	9,6
Eau	1 188	0 143	8,3

Toutefois, l'augmentation de poids, très réelle, que l'on constate doit être attribuée presque entièrement à l'élévation de la turgescence des plantules, puisqu'il n'y a pas d'accroissement sensible en substance sèche.

Les plantules continuent leur développement en conservant toujours les mêmes différences de taille. Elles mesurent 15 cm. 7, le 17 mars, en présence de la solution à 0,5 o/oo, 15 centimètres avec la solution à 1 o/oo, 16 centimètres avec l'acide à la dose de 5 o/oo et 17 centimètres avec la solution à 2,5 o/oo, qui est celle que nous pouvons considérer comme la solution optimale.

Les poids de dix plantules, à cette époque, sont transcrits ci-dessous :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique à 0,5 o/oo	1 gr. 728	0 gr. 135	12,8
» » 1 o/oo	1 783	0 125	14,2
» » 2,5 o/oo	1 767	0 125	14,1
» » 5 o/oo	1 895	0 130	14,5
Eau.....	1 695	0 125	13,6

C'est maintenant la solution à 5 o/oo qui donne les plantules les plus robustes; la turgescence continue à s'élever, et le poids sec est légèrement accru.

En résumé, les solutions d'acide citrique ont accéléré le développement. C'est la dose 2,5 o/oo qui a donné au début de la germination les plantules les plus grandes, les plus turgescentes, les plus riches en matière sèche et possédant le quotient respiratoire le plus élevé. A la fin de la période germinative les meilleurs résultats ont été obtenus avec la solution à 5 o/oo.

X. — Graines de lin. — Ces graines ont été semées, par poids égaux et sans immersion préalable, dans des terrines contenant avec le sable stérile 300 centimètres cubes d'un des liquides suivants: acide tartrique à 1 o/oo, acide citrique à 0,5 o/oo et à 1 o/oo, eau pure.

Les graines ont levé le 14 novembre. Deux jours plus tard, vingt-cinq jeunes plantes ont été prélevées. Pesées à l'état frais et après dessiccation à l'étuve, elles ont donné :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique 1 o/oo	1 gr. 222	0 gr. 162	7,3
Acide citrique 0,5 o/oo	1 210	0 168	7,2
Acide citrique 1 o/oo	1 200	0 145	8,2
Eau.....	1 212	0 175	6,9

Les acides ont, par conséquent, produit un effet néfaste sur les poids secs. Il y a eu, d'autre part, une légère augmentation de la turgescence, et les différences entre les poids frais sont, par contre-coup, très faibles.

Comme le développement semble assez uniforme dans les différentes terrines et que nous n'avons pas d'observations morphologiques à noter, nous avons multiplié le nombre des pesées dont les résultats, à défaut de ceux qu'aurait pu fournir la comparaison des caractères extérieurs, nous renseigneront assez bien sur le mode d'action des acides.

Voici les poids de trente plantules prélevées le 22 novembre :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique	1 o/oo	1 gr. 260	0 gr. 124	10,1
Acide citrique	0,5 o/oo	1 060	0 130	8,1
»	1 o/oo	1 130	0 124	9,2
Eau.....		1 062	0 135	7,8

Les poids secs, en présence des acides, sont toujours inférieurs à ce qu'ils sont dans les conditions normales. La turgescence, par contre, est activée et les différences entre les poids frais sont en faveur des cultures acidifiées.

Quinze autres plantules sont sacrifiées le 7 décembre et leurs poids sont :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique	1 o/oo	0 gr. 970	0 gr. 073	11,6
Acide citrique	0,5 o/oo	1 065	0 083	12,8
»	1 o/oo	0 867	0 073	11,8
Eau.....		0 840	0 073	11,5

Maintenant, donc, le poids sec n'est plus diminué par l'action des acides. La solution d'acide citrique à 0,5 o/oo a même provoqué un accroissement sensible de ce poids. La turgescence est toujours augmentée par ces solutions, et les poids frais se sont accrus d'une façon notable.

Le rapport $\frac{A}{E}$ avec l'acide citrique à 0,5 o/oo est 1,26 pour les récoltes en poids frais ; le rapport des récoltes sèches est 1,14. Avec l'acide tartrique à 1 o/oo $\frac{A}{E}$ est, pour les poids frais, 1,15, pour les poids secs, 1,14.

En résumé, pour ces graines de lin, les acides ont augmenté la turgescence pendant toute la durée de la germination ; au point de vue du poids sec, leur influence varie au cours du développement : Au début de la période germinative, les acides diminuent la récolte sèche, très probablement parce qu'ils augmentent considérablement l'énergie respiratoire ; à la fin, ils l'augmentent, et, vraisemblablement parce qu'ils jouent, alors, le rôle d'aliment.

Les modifications du poids frais résultent de la combinaison de ces deux effets ; elles sont d'abord à peine sensibles, mais il y a plus tard avantage pour les plantes cultivées en milieu acide.

XI. — Graines d'oseille. — L'acide que nous avons choisi pour cette expérience a été l'acide citrique ; nous l'avons employé en doses assez fortes, 1 o/oo, 5 o/oo et 1 o/o, parce que nous avons reconnu, au cours d'autres séries de recherches qui seront exposées plus loin, que le quotient respiratoire de ces graines ne commence à s'élever qu'à partir de fortes concentrations, alors que les solutions plus diluées sont inefficaces à ce point de vue.

Bien que l'ensemencement ait eu lieu au mois de juin, la germination s'est faite très difficilement, et, le développement des plantules d'une même terrine étant très irrégulier, on ne pouvait se rendre compte aisément des différences générales que présentaient les diverses cultures. Il ne nous a pas semblé cependant qu'il y eût d'avance notable pour aucune d'elles.

Nous donnons les poids de trente jeunes plantes prélevées huit jours après la sortie de terre :

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique.....	à 1 o/oo	0 gr. 355	0 gr. 018	19
» »	» 5 o/oo	0 375	0 020	18
» »	» 1 o/oo	0 350	0 020	17
Eau		0 410	0 018	23

Ces plantules s'étant flétries peu de temps après, nous avons dû nous contenter de ces quelques données, qui nous montrent que l'acide citrique a diminué la teneur en eau et augmenté très légèrement le poids sec.

Résumé général. — 1° La germination des graines provenant de fruits non acides est tantôt gênée et tantôt, au contraire, accélérée par l'acidité extérieure.

2° Les grains de céréales, comme ceux de blé et de maïs, semblent les plus aptes à profiter des acides qui leur sont offerts.

3° Pour les graines grasses, il y a des différences spécifiques. Les acides ont diminué fortement le nombre des germinations du colza et, par contre, ont été assez favorables au développement des graines de lin et de chanvre.

4° Les graines de Légumineuses présentent encore de plus grandes variations. Le lupin blanc et le haricot noir s'accommodent fort mal des acides, qui sont, au contraire, plutôt favorables aux lentilles, et plus encore aux fèves et aux sojas.

5° Nous ne constatons pas de différences spécifiques analogues avec les graines provenant de fruits charnus, qui toutes tiraient avantage de l'acidité du milieu ; c'est la preuve que ces graines sont bien adaptées à profiter, dès le début de la germination, de quelques-unes au moins des substances qu'elles trouvent dans le milieu et qui, normalement, leur sont offertes par la pulpe

qui les entoure. Pour les graines provenant de fruits à péricarpe sec, les variations relevées établissent qu'une influence analogue est possible, mais nullement nécessaire, et sans que d'ailleurs, nous puissions préciser une concordance quelconque entre le mode d'influence et, soit la composition de la graine, soit la famille végétale à laquelle la plante appartient.

CHAPITRE II

INFLUENCE DE L'ACIDITÉ INTÉRIEURE SUR LA GERMINATION

Dans les expériences précédentes, nous avons créé autour de la graine un milieu acide, et les modifications du développement qui en sont résultées prouvent que la plante, loin d'être indépendante du milieu pendant la phase germinative, est capable d'absorber certaines substances extérieures, et notamment les acides organiques qui leur sont généralement favorables.

Nous avons songé, dès lors, à chercher une méthode simple qui permettrait d'utiliser pratiquement cette propriété de la jeune plante, et nous avons pensé qu'il pourrait, par exemple, être possible de plonger les graines pendant quelques heures dans ces solutions, avant de les semer dans les conditions normales, c'est-à-dire sans ajouter, cette fois, la même substance au milieu, comme nous l'avons fait dans nos précédentes recherches.

Mais pour que cette méthode soit applicable et avantageuse, deux faits d'ordre physiologique doivent être établis.

Il faut d'abord que l'absorption des acides ait lieu dès le début de la germination, à l'époque qui correspond au gonflement de la graine. Or le fait de cette absorption initiale n'est pas encore prouvé, car jusqu'alors, dans nos expériences, les solutions acides ont été fournies pendant toute la phase germinative ; l'absorption a donc pu ne se produire que par l'intermédiaire de la radicule.

Il faut encore que cette pénétration des acides dans la graine, pendant la période d'imbibition, soit suffisante pour influencer le développement ultérieur des plantules.

C'est à la recherche de ces faits que nous avons consacré les expériences exposées dans cette seconde partie de notre travail.

Des graines ont été plongées dans des solutions acides diverses et, d'autre part, dans l'eau pure. La durée de l'immersion a varié de douze à quarante-huit heures, suivant l'épaisseur du tégument et les circonstances, mais elle a toujours été égale pour les différents lots de graines dont nous voulions

comparer la germination. Cette opération faite, nous avons semé ces graines dans des milieux divers (sable de Fontainebleau, terreau, sable calcaire), que, dans aucun cas, nous n'avons acidifiés, et qui ont toujours été arrosés exclusivement avec de l'eau pure.

Les semences sur lesquelles nous avons porté nos expériences sont celles de tomate, de citrouille, de courge et de piment.

I. — **Graines de tomate.** — Ces graines ont été plongées pendant vingt-quatre heures dans une solution d'acide tartrique à 0,5 o/oo, et dans l'eau pure. Elles ont été semées ensuite dans du sable de Fontainebleau humide.

Les plantules sont sorties de terre à la même époque dans les différents lots, mais, après quelques jours, le développement a été bien plus rapide pour celles qui provenaient des graines acidifiées. Tandis que la racicule mesurait 3 centimètres dans la culture témoin, elle était de 5^{cm} 5 chez les plantules issues de graines plongées dans l'acide à 0,5 o/oo, et de 4^{cm} 5 chez celles qui ont absorbé 1 o/oo d'acide tartrique. L'axe hypocotylé était de 4^{cm} 5 dans la culture témoin et dans celles des graines les moins acidifiées ; il atteignait 6 centimètres chez les plantules dans lesquelles a pénétré l'acide à 1 o/oo.

Les poids de ces jeunes plantes sont en rapport avec leurs caractères extérieurs.

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique à 0,5 o/oo	0 gr. 965	0 gr. 055	17,5
» » 1 o/oo	1 195	0 055	21,7
Eau....	0 905	0 055	16,4

Le poids frais et la turgescence sont notablement plus élevés lorsque les plantules proviennent de graines qui ont séjourné dans les solutions acides. Le poids sec, par contre, n'a pas été augmenté.

Cette accélération de la germination est une preuve que les acides ont été absorbés et la pénétration de l'acide tartrique à 1 o/oo a été suffisante pour que la récolte en poids frais ait été augmentée de 30 o/o.

Rappelons que c'était déjà une augmentation de 30 o/o de la récolte qu'avait provoquée l'action de l'acide tartrique à 1 o/oo lorsqu'on l'introduisait dans le milieu extérieur pendant toute la période germinative. Par conséquent, l'acidité intérieure acquise par la graine avant l'ensemencement a été aussi efficace au point de vue de l'accroissement en poids frais que l'acidité extérieure.

Toutefois, il n'en est pas de même pour le poids sec : tandis que l'acide tartrique à 1 o/oo augmentait de 10 o/o le rendement en substance sèche lorsque son action était prolongée, il n'est plus d'aucun effet sur ce poids sec lorsqu'il n'est fourni à la graine que pendant la période d'imbibition.

Dans une seconde expérience, la durée de l'immersion des graines de tomate a été de quarante-huit heures au lieu de vingt-quatre ; les solutions choisies ont été l'acide oxalique à 0,5 o/oo, solution optima, et de nouveau l'acide tartrique à la dose de 0,5 o/oo, qui est, comme nous le savons, inférieure à l'optimum.

Cette fois les graines ont été semées dans deux sols différents : d'une part, en terrine, dans du sable siliceux arrosé avec de l'eau, d'autre part, en pleine terre de jardin dont la constitution est assez calcaire.

Les terrines de sable de Fontainebleau ont été mises dans le jardin à proximité des semis en pleine terre. Les conditions extérieures telles que l'éclairement et l'humidité ont été ainsi les mêmes.

Dans le sable siliceux les graines ont levé au bout de quatorze jours, et les plantules présentent cinq jours plus tard les variations suivantes en présence des diverses solutions :

La taille est de 6^{cm} 5 chez celles dont les graines ont été traitées par l'acide oxalique, de 6 centimètres seulement chez celles dont les graines ont absorbé l'acide tartrique, et de 6^{cm} 3, c'est-à-dire intermédiaire, chez les plantules témoins. Les cotylédons ont 2^{cm} 2 de longueur moyenne lorsqu'ils proviennent de graines plongées dans l'acide oxalique ; ils n'ont que 1^{cm} 5 dans les deux autres lots. Les poids frais et secs de dix plantules sont notés ci-dessous :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide oxalique à 0,5 o/oo	0 gr. 474	0 gr. 018	26,3
Acide tartrique 0,5 o/oo	0 250	0 008	31,2
Eau.....	0 315	0 011	28,6

L'acide oxalique a donc augmenté le poids frais et le poids sec ; l'acide tartrique, au contraire, les a diminués, et son action n'a été avantageuse qu'au point de vue de la teneur en eau.

Le rapport $\frac{A}{E}$ à cette époque est de 1,5 pour les plantules dont les graines ont séjourné dans l'acide oxalique ; il est 0,7 seulement lorsque les graines ont été plongées dans l'acide tartrique.

Dans la terre calcaire, d'autre part, les graines ont levé trois jours avant celles que nous venons d'examiner ; et cinq jours après leur apparition, les plantules mesurent 6^{cm} 5 lorsqu'elles proviennent de graines traitées par l'acide oxalique et l'acide tartrique, 6 centimètres seulement lorsque les graines ont été plongées dans l'eau pure. La longueur des cotylédons est aussi plus grande lorsque les graines ont été acidifiées. Les différences de poids sont les suivantes :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide oxalique.. à 0,5 o/oo	0 gr. 771	0 gr. 033	23
» tartrique.. à 0,5 o/oo	0 688	0 029	23,3
Eau.....	0 683	0 028	23,9

Comme on le voit, l'acide oxalique augmente le poids frais et le poids sec, et le rapport $\frac{A}{E}$ est pour les poids frais 1,12, tandis que l'action de l'acide tartrique est à peu près nulle, $\frac{A}{E}$ étant égal à 1.

Si nous comparons ces rapports avec ceux que nous obtenons dans le sable siliceux, nous remarquons qu'ils sont bien plus rapprochés de l'unité : l'influence favorable de l'acide oxalique est, par suite, fort diminuée par l'alcalinité de la terre environnante, et l'influence nuisible de l'acide tartrique à 0,5 o/oo (dose inférieure à l'optimum) est tout à fait annulée. Il y a, selon toutes probabilités, neutralisation à l'intérieur de la graine, et l'alcalinité de la terre tendrait en général à diminuer les variations produites par les acides.

Nous devons cependant relater une observation que nous avons faite sur les mêmes cultures un mois plus tard, et qui indiquerait peut-être que les différences de la végétation en pleine terre, si elles sont très affaiblies au début de la germination, s'accusent néanmoins ensuite avec le temps. Cinq plantules ont été en effet prélevées à cette époque, et leur poids a été de 4 gr. 935 dans la parcelle ensemencée avec les graines traitées par l'acide oxalique, de 3 gr. 842 seulement dans la parcelle témoin, ce qui donne un rapport $\frac{A}{E}$ égal à 1,28 au lieu de 1,12 qu'il était au début de la germination. Les poids secs des mêmes plantules sont respectivement 0 gr. 400 et 0 gr. 300, ce qui donne un rapport de 1,33.

Dans le sable de Fontainebleau, au contraire, les différences se maintiennent exactement les mêmes. Les poids frais de cinq plantules sont 1 gr. 732 pour la terrine à graines acidifiées, 1 gr. 129 pour la terrine témoin, les poids secs de ces plantules étant 0 gr. 123 et 0 gr. 080, chiffres qui donnent comme rapport $\frac{A}{E}$ 1,5 pour les poids frais et 1,5 encore pour les poids secs.

En résumé, l'immersion des graines de tomate dans les solutions acides, avant l'ensemencement, a des effets variables suivant la nature du terrain où ces graines doivent germer. Les différences, qu'elles soient au profit des graines acidifiées ou à leur détriment, sont beaucoup plus accusées dans les sols neutres; elles s'atténuent, et surtout au début de la germination, dans les terres à réaction basique.

II. — **Graines de citrouille.** — Ces graines de *Cucurbita Pepo* sont de la variété « citrouille de Touraine ». Nous les avons semées dans du sable de Fontainebleau humide, après un séjour de quarante-huit heures dans des solutions, à 0,5 o/oo, d'acide tartrique, d'acide oxalique et d'acide acétique et, d'autre part, dans de l'eau pure.

Les graines qui ont été plongées dans l'acide acétique lèvent les premières, puis en second lieu, celles qui ont séjourné dans l'acide tartrique et dans l'acide oxalique, et enfin quelques jours plus tard, celles qui ont été plongées dans l'eau pure.

Peu de temps après, une plante moyenne est prélevée dans chacun des lots et en voici les principaux caractères :

	Hauteur de l'axe hypocotylé	Cotylédons				Nombre de feuilles		Poids frais		Poids sec	
		Longeur		Largeur							
Acide acétique.	5 cm.	6 cm.	5	3 cm.	5	6	6	gr.760	0	gr.650	
» tartrique	7	7	5	4		5	5	740	0	535	
» oxalique	5 5	7	5	4	5	2	5	390	0	475	
Eau	4	5	7	3		2	3	350	0	315	

L'imbibition dans les solutions acides a donc été très avantageuse pour le développement des plantules ; la taille, la surface des cotylédons, le nombre de feuilles, les poids frais et secs ont été largement accrus.

Quarante jours après l'ensemencement, les terrines sont transportées dans un jardin et à demi-enterrées, les racines pouvant passer par les trous des terrines et pénétrer dans le sol. L'une des plantes de chacun des lots est déracinée, puis repiquée, à côté, dans la bonne terre.

Au bout d'un certain temps, les plantes provenant des graines qui ont été immergées dans l'eau meurent dans le sable de Fontainebleau ; celles qui proviennent des graines acidifiées reprennent au contraire de la vigueur. Les fleurs apparaissent d'abord sur les pieds provenant de semences traitées par l'acide acétique, ensuite sur ceux dont les semences avaient été plongées dans l'acide oxalique, enfin à quelques jours d'intervalle sur les plantes provenant de graines trempées dans l'acide tartrique. L'action de l'acide acétique est encore très remarquable sur la fructification ; les citrouilles sont plus nombreuses et plus grosses que dans les autres lots.

Voyons maintenant ce qu'il advient des plantules repiquées dans le sol calcaire. Elles se développent très inégalement. Deux mois après l'ensemencement, le nombre de feuilles est de 9 sur la plante traitée par l'acide acétique, de 7 sur celle traitée par l'acide oxalique, de 6 sur celle qui a absorbé de l'acide tartrique et de 5 seulement sur la plante témoin.

A la fin de l'été, la plante provenant du lot de graines plongées dans l'acide

acétique a donné trois citrouilles très volumineuses ; celles qui ont absorbé l'acide oxalique et l'acide tartrique ont donné : la première, deux beaux fruits ; la seconde, un seulement. La plante témoin a fleuri mais n'a pas fructifié.

Ces résultats prouvent que le sable siliceux convient mal à la germination de nos graines, puisque les plantes qui se développent dans ce milieu meurent prématurément alors même qu'on les a repiquées dans de la bonne terre. Mais les solutions acides, et particulièrement celle d'acide acétique, nourrissent la plante, la fortifient et lui permettent de lutter contre les mauvaises conditions extérieures.

L'influence spéciale de l'acide tartrique, à divers degrés de concentration, a été recherchée dans une seconde expérience sur les mêmes graines. Il y a eu immersion des semences, pendant trois jours, dans des solutions à 0,5 o/oo, 1 o/oo, 2,5 o/oo et 5 o/oo. Nous avonsensemencé ensuite dans la terre du jardin, puisque les résultats précédents nous ont appris que les plantules ne tardent pas à souffrir du manque de nourriture dans le sable stérile.

Dès le début de la germination, nous avons pu constater que les plantules les plus vigoureuses sont celles qui proviennent des graines traitées par les solutions acides.

Vingt jours après l'apparition des plantules nous avons compté les feuilles bien développées, et nous avons calculé le nombre moyen que porte une plante de chacun des lots :

	Moyenne du nombre de feuilles
Acide tartrique à 0,5 o/oo.....	7,8
» » » 1 o/oo.....	8,3
» » » 2,5 o/oo.....	8,3
» » » 5 o/oo.....	7,7
Eau.....	6,6

Les solutions à 1 et à 2,5 o/oo sont donc à cet égard les plus favorables.

Nous avons abandonné ces plantes à elles-mêmes, nous bornant seulement à compter les fruits qu'elles ont produits à la fin de l'été. Nous en donnons ci-dessous la moyenne rapportée à une plante :

	Nombre moyen des fruits
Acide tartrique à 0,5 o/oo.....	1,2
» » » 1 o/oo.....	2,1
» » » 2,5 o/oo.....	2
» » » 5 o/oo.....	2,4
Eau.....	1,2

Nous voyons donc que l'avantage produit par les acides se fait sentir jusqu'à la fin de la végétation.

Pendant la période germinative, c'étaient les solutions moyennement concentrées (1 et 2,5 o/oo) qui étaient les plus favorables ; au moment de la fructification ce sont les solutions les plus concentrées qui sont les plus avantageuses.

Il peut paraître invraisemblable que la si petite quantité d'acide qui a pu pénétrer dans la graine pendant la période du gonflement puisse produire des effets aussi persistants sur le développement du végétal, mais nous pensons que ce n'est pas par sa substance même que cet acide a dû agir, et plutôt par ses propriétés excitantes, l'avance et la vigueur ainsi acquises par la plante durant la période germinative ayant été seulement conservées pendant la suite du développement.

En résumé, pour les graines de citrouille, l'absorption des acides pendant la période du gonflement a des effets très remarquables, non seulement sur la germination, mais sur toutes les phases ultérieures de la végétation de ces plantes.

Lorsque les graines sont semées dans un milieu non adéquat à leurs besoins, l'acidité intérieure qu'elles ont acquise pendant l'imbibition leur permet de lutter avec plus de force contre les mauvaises conditions extérieures, et les stades de floraison et de fructification peuvent être atteints alors même qu'une plante témoin, placée dans les mêmes conditions, aurait succombé prématurément.

Lorsque, au contraire, nos graines sont semées dans de bonnes conditions, l'acidité intérieure continue d'ailleurs à être favorable. Pendant la germination ce sont les graines peu acidifiées qui sont les plus avancées ; plus tard, à l'époque de la fructification, ce sont les graines acidifiées plus fortement qui donnent les meilleurs résultats.

III. — Graines de courge. — Nous avons plongé ces graines, qui sont toujours de l'espèce *Cucurbita Pepo* mais de la variété « courge prolifique très hâtive », pendant quarante-huit heures dans des solutions à 0,5 o/oo, et à 2,5 o/oo d'acide tartrique, dans des solutions à 0,5 o/oo et à 1 o/oo d'acide citrique, dans l'acide oxalique à 1 o/oo et dans l'eau pure. Nous les avons semées ensuite dans un jardin, en pleine terre.

Il y eut une avance légère dans l'apparition des plantules provenant des graines qui ont été plongées dans l'acide tartrique à 0,5 o/oo et dans l'acide citrique à 0,5 o/oo, mais les différences dans la végétation ultérieure ont été presque nulles.

La floraison a commencé un mois et demi environ après l'ensemencement ; seul l'acide tartrique à 0,5 o/oo a augmenté un peu le nombre des fleurs.

Le 14 septembre, nous avons compté trois fruits mûrs sur les plantes qui

proviennent de graines traitées par l'acide citrique à 0,5 o/oo, deux sur celles qui proviennent de graines traitées par 0,5 o/oo d'acide tartrique, un seulement sur celles issues de semences ayant absorbé l'acide oxalique, un également sur les plantes témoins.

La fructification aurait donc été un peu avancée par les acides citrique et tartrique à 0,5 o/oo. A la fin de l'été, les plantes qui ont donné le plus de fruits sont celles qui proviennent de graines traitées par l'acide citrique à 0,5 o/oo (six courges), et par l'acide citrique à 1 o/oo (quatre courges). On compte trois fruits sur les plantes qui proviennent de graines traitées par l'acide oxalique à 1 o/oo et par l'eau pure, deux seulement sur celles dont les graines avaient absorbé de l'acide tartrique.

L'immersion des graines de courge dans des solutions acides, avant l'ensemencement en terre à réaction basique, aurait donc, pour cette variété, des effets moins intenses sur la végétation en général qu'elle n'en avait précédemment pour les graines de citrouille.

Il est à noter que, dans les expériences antérieures où nous avons acidifié le milieu en même temps que la graine, nous n'avions pas observé la même différence d'influence favorable entre les graines de « Courge prolifique très hâtive » et les graines de « Citrouille de Touraine » ; les unes et les autres s'étaient développées sensiblement de la même manière. La différence actuelle peut donc tenir à ce que les graines de courge cèdent plus facilement au sol les substances qu'elles ont absorbées ou, au contraire, à ce que les graines de citrouille absorbent en plus grande quantité ces substances et les retiennent plus énergiquement. Et, en fait, ces deux sortes de graines n'ont pas le même aspect ; non seulement celles de citrouille sont plus grosses, mais le bord présente un bourrelet épais et spongieux qui manque sur les graines de courge.

Cette remarque nous amenait à déterminer la quantité de liquide retenue après immersion par ces deux Cucurbitacées.

A cet effet, nous avons plongé dans une solution d'acide citrique à 1 o/oo, trois graines de chacune des deux variétés. Après cinquante-deux heures, nous avons séparé les téguments des embryons et nous avons déterminé leur poids respectif à l'état frais, puis après dessiccation à l'étuve :

	Poids frais des téguments	Poids frais de l'embryon	Poids sec des téguments	Poids sec de l'embryon	$\frac{F}{S}$	
					Tégum.	Embryon
Courge. . .	0 gr. 465	0 gr. 810	0 gr. 180	0 gr. 525	2,58	1,54
Citrouille.	1 175	1 043	0 265	0 670	4,43	1,55

On voit donc que la teneur en eau des téguments des graines de citrouille est près de deux fois plus forte que celle des téguments des graines de courge,

tandis que la turgescence des embryons est sensiblement la même dans ces deux sortes de graines.

Notre hypothèse se trouve ainsi pleinement justifiée et la structure du tégument joue un rôle important dans la prise des liquides extérieurs par la graine.

IV. — **Graines de piment.** — Les semences ont séjourné pendant quarante-huit heures dans l'acide citrique à 0,5 et à 1 o/oo, dans l'acide tartrique à 1 o/oo et dans l'eau pure. Elles ont été semées dans le jardin du laboratoire le 23 mai.

Les plantules sont sorties de terre le 2 juin ; six jours plus tard, nous en avons prélevé dix dans chacun des lots. Leur poids respectif et leur taille sont :

	Taille	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique à 0,5 o/oo	8 cm. 5	0 gr. 812	0 gr. 070	11,6
» » » 1 o/oo	8 5	0 845	0 078	10,8
Acide tartrique à 1 o/oo	8	0 702	0 068	10,3
Eau.....	8 3	0 698	0 065	10,7

L'action des acides a donc été d'augmenter le poids frais et le poids sec des plantules.

La solution qui a donné les meilleurs résultats est celle d'acide citrique à 1 o/oo ; remarquons que dans le sable de Fontainebleau arrosé avec les acides l'optimum, reconnu d'après une expérience antérieure, n'est pour l'acide citrique que 0,5 o/oo ; *il faut donc une concentration d'acide plus forte dans les sols calcaires.* Le rapport $\frac{A}{E}$ était, pour l'acide citrique à 0,5 o/oo, 1,31 ; il n'est plus maintenant que 1,16 avec cette solution et 1,21 avec la concentration 1 o/oo. Il convient de considérer, cependant, que l'action de cet acide s'exerçait, dans les expériences anciennes auxquelles nous nous rapportons, pendant toute la durée de la germination, tandis que, dans les circonstances présentes, l'acide n'a été fourni à la graine que pendant quarante-huit heures.

La vigueur acquise par ces plantules s'est, du reste, conservée pendant toute leur vie ; il y a eu exception toutefois pour celles qui provenaient de graines plongées dans l'acide tartrique. Le 2 août, nous avons noté l'état de la floraison. Il y avait dix-sept fleurs et de nombreux boutons dans la parcelle qui a reçu les graines traitées par l'acide citrique à 0,5 o/oo, quatorze fleurs et de nombreux boutons dans celle qui a reçu les graines plongées dans le même acide à 1 o/oo ; il n'y avait que deux fleurs et quelques boutons dans celle des semences qui ont absorbé l'acide tartrique. Il y avait, dans la parcelle témoin,

quatorze fleurs et de nombreux boutons, c'est-à-dire que l'état de la floraison était le même que celui de la seconde parcelle.

Le 17 août, les plantes traitées par l'acide citrique portent des fruits déjà nombreux et gros ; ils sont bien moins volumineux chez les plantes témoins, rares et petits chez les plantes provenant de graines acidifiées par l'acide tartrique. (*Figure 3*).



FIGURE 3.

Piments cueillis sur des pieds provenant de graines traitées : par l'eau pure (A) ; par l'acide citrique à 0,5 o/oo (B) ; par l'acide tartrique à 1 o/oo (C).

Ces fruits ont été récoltés à maturité le 18 novembre, c'est-à-dire six mois après l'ensemencement. Les plantes provenant des graines traitées par l'acide citrique à 0,5 o/oo en ont produit 89, celles qui proviennent de semences plongées dans 1 o/oo du même acide en ont donné 79, les plantes traitées par l'acide tartrique en ont fourni 51, tandis que la parcelle témoin en a donné 71.

On voit que l'acidité acquise par la graine pendant la courte période

d'imbibition a eu des effets sensibles pendant toute la durée de la végétation. Le retentissement qu'elle a eu sur la production des fruits a été particulièrement remarquable, puisque l'augmentation produite par l'acide citrique à 0,5 o/oo est de 25 pour 100.

Résumé général. — Nous répétons que cette partie de notre travail tendait à obtenir un résultat qui fût intéressant, à la fois, au point de vue biologique et au point de vue pratique. Il s'agissait de savoir si l'absorption de l'acide s'effectue dès la période du gonflement de la graine ou si elle ne se produit que plus tard, par l'intermédiaire de la radicule. De nombreux auteurs ont soutenu que la graine n'emprunte au milieu extérieur, au début de la germination, que l'eau et l'énergie des radiations calorifiques.

Les observations faites au cours de nos expériences peuvent se résumer comme il suit :

1° L'immersion des graines dans des solutions acides, avant l'ensemencement, a donné de très bons résultats avec les semences de tomate, de citrouille, de piment.

2° Lorsque l'ensemencement est effectué dans le sable de Fontainebleau, les bénéfices pour la plante sont presque aussi grands que lorsque les acides sont fournis pendant toute la durée de la période germinative.

3° Quand les graines sont semées dans un terrain plus ou moins basique, les variations du développement s'atténuent, sans cependant changer de sens. Elles se sont maintenues pendant toute la durée de la végétation chez les plants de citrouille et de piment.

4° Le titre des solutions optima varie avec la nature du sol dans lequel les graines sont placées. Les concentrations d'acide doivent être plus fortes lorsque les graines sont destinées à un milieu alcalin que lorsque l'ensemencement s'effectuera dans un terrain neutre.

Il peut y avoir, du reste, des différences suivant les espèces ou même les variétés. La germination des graines de courge, par exemple, n'a pas été aussi influencée que celle des graines de citrouille par l'immersion; et cette différence tiendrait à la nature du tégument, qui joue en la circonstance un rôle important. Certains téguments, en effet, en accumulant une plus grande quantité de la substance introduite favorisent tout particulièrement l'influence de l'acide sur la germination.

Il résulte de tout ceci que la prise des acides par les graines en voie de gonflement est réelle et qu'elle est profitable pour la germination. Cependant, les effets de l'acidité intérieure acquise par les graines peuvent se trouver, indépendamment du rôle joué par le tégument et que nous venons d'indiquer, affaiblis par la nature du sol.

CHAPITRE III

INFLUENCE DE L'ACIDITÉ EXTÉRIEURE SUR LA GERMINATION DANS DES MILIEUX NUTRITIFS DIVERS

Nous venons de voir dans le chapitre précédent que l'action de l'acide absorbé par la graine pendant la période de l'imbibition est notablement plus faible lorsque la graine est semée dans la terre de jardin que lorsqu'on la sème dans du sable siliceux.

Cet affaiblissement de l'action de l'acide est-il dû à une neutralisation qui se produirait à l'intérieur de la graine par les bases venues du sol, ou bien simplement à ce que l'utilité des acides est moins grande lorsque la graine trouve dans le milieu environnant d'autres substances nutritives ?

C'est ce que nous avons tenté d'éclaircir par de nouvelles expériences.

Nous avons fait germer nos graines dans des milieux nutritifs divers que nous avons acidifiés au moyen des solutions dont nous avons déjà reconnu les effets en milieu stérile. L'influence de ces acides extérieurs sur le végétal est donc, de nouveau, ici, exercée pendant toute la période germinative, comme dans les recherches exposées au cours du premier chapitre.

Les graines dont nous nous sommes servies pour ces expériences ont été choisies parmi celles dont la sensibilité à l'égard des acides est la plus grande : ce sont les graines de courge et celles de tomate.

Les milieux de culture ont été un terreau riche en substances organiques, et, d'autre part, du sable stérile additionné de solutions minérales bien définies.

1° GERMINATION DANS LE TERREAU

Ce terreau est de composition trop complexe pour que nous essayons de la définir ; indiquons seulement qu'il communique à l'eau chaude dans laquelle nous en avons délayé une petite quantité, une réaction légèrement basique.

I. — **Graines de courge.** — Ces graines sont plongées pendant quarante-huit heures dans des solutions d'acide tartrique à 0,5 et à 1 o/oo. Elles sont ensuite transportées dans des terrines remplies de terreau arrosé avec les mêmes solutions. D'autres graines sont, en même temps, immergées dans l'eau puis semées dans du terreau arrosé avec de l'eau pure pour constituer une culture témoin.

La germination est un peu plus rapide dans les terrines arrosées avec les solutions acides. Nous avons sacrifié les plantules treize jours après la sortie de terre, et voici les poids moyens d'une plantule dans les différents lots :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique à 0,5 o/oo	4gr.031	0gr.272	14,8
» 1 o/oo	4, 573	0, 222	20,6
Eau:.....	2, 991	0, 206	14,5

Les poids frais et les poids secs sont accrus par les solutions d'acide, mais d'une façon un peu différente de celle qui se produisait dans le sable de Fontainebleau. Dans ce dernier milieu, en effet, la récolte en poids frais avait été presque triplée par la solution d'acide tartrique à 0,5 o/oo et la récolte en poids sec avait été augmentée de moitié. Ici, maintenant l'augmentation du poids frais est de 34 o/o, l'augmentation du poids sec est presque équivalente : 27 o/o.

De plus dans le sable de Fontainebleau c'est la solution à 0,5 o/oo qui est l'optimum pour les poids frais comme pour les poids secs ; dans le terreau c'est la solution à 1 o/oo qui est la plus favorable au poids frais ($\frac{A}{E}$ est égal à 1,52). C'est par contre la solution à 0,5 o/oo qui donne les meilleurs résultats au point de vue du poids sec.

D'une façon générale l'acide, bien que d'un emploi très avantageux pour la germination dans le terreau, est moins utilisé que dans le sable siliceux.

II. — **Graines de tomate.** — Les solutions étudiées sont celles d'acide oxalique à 0,5 o/oo et d'acide chlorhydrique à 0,1 o/oo. Les graines ont séjourné pendant deux jours dans ces solutions et, d'autre part, dans l'eau pure, avant d'être ensemencées dans le terreau où elles retrouveront les mêmes liquides.

Il y a un léger retard dans l'apparition des plantules en présence de l'acide oxalique, et, huit jours après l'ensemencement, leur taille est de 6 centimètres alors qu'elle est de 7 centimètres avec l'acide chlorhydrique et avec l'eau pure. Les poids de 30 plantules sont à cette époque :

I. — Influence des acides citrique, oxalique, tartrique et chlorhydrique en présence de la liqueur de Knop. — Les graines ont été semées sans immersion préalable dans du sable de Fontainebleau, arrosé avec la solution de Knop qui possède déjà une certaine acidité. Nous avons toutefois additionné celle-ci d'acide citrique à 0,5 o/oo, d'acide oxalique à 0,25 et à 0,5 o/oo, d'acide tartrique à la dose de 0,5 o/oo et d'acide chlorhydrique à 0,1 o/oo.

Les plantules sont sorties de terre huit jours après l'ensemencement, dans toutes les terrines. Il n'y a pas eu de différenciation bien nette au début du développement, au moins dans les caractères extérieurs, mais les poids de 10 plantules prélevées une semaine plus tard indiquent quelques variations dans l'état de la végétation.

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Liqueur de Knop + acide oxalique.....	à 0,25 o/oo	0 gr. 370	0 gr. 023	16
» » + acide oxalique.....	à 0,5 o/oo	0 477	0 028	17
» » + acide citrique.....	à 0,5 o/oo	0 323	0 023	14
» » + acide tartrique.....	à 0,5 o/oo	0 355	0 028	12
» » + acide chlorhydrique à 0,1 o/oo		0 337	0 018	18
Liqueur de Knop		0 330	0 020	16

On voit que ces variations sont d'abord en faveur des cultures acidifiées. Mais elles ne doivent pas tarder à changer de sens, et bientôt le développement est, au contraire, plus avancé dans la terrine arrosée avec la liqueur de Knop sans adjonction d'acide que dans toutes les autres.

C'est ce qu'indiquent, du reste, les résultats de nouvelles pesées effectuées quelques jours plus tard.

		Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Liqueur de Knop + acide oxalique.....	à 0,25 o/oo	1 gr. 050	0 gr. 056	18,7
» » + acide oxalique.....	à 0,5 o/oo	1 092	0 058	18,8
» » + acide citrique.....	à 0,5 o/oo	0 998	0 050	19,9
» » + acide tartrique.....	à 0,5 o/oo	0 960	0 051	18,9
» » + acide chlorhydrique à 0,1 o/oo		1 268	0 058	21,8
Liqueur de Knop.....		1 148	0 060	19,1

Les acides ont donc, à l'exception de l'acide chlorhydrique, diminué assez sensiblement le poids frais ; ils ont tous provoqué aussi une diminution du poids sec. Le phénomène est, par suite, analogue à celui qui se produisait lors de la germination dans le terreau.

Ces résultats ne sont pas du reste, il faut bien le préciser, en contradiction avec ceux obtenus dans le précédent chapitre, où nous avons vu que le sol, milieu pourtant complexe, ne paralysait jamais entièrement l'influence heureuse des acides. Mais nous avons, dans ces autres recherches, introduit l'acide dans la graine, tandis qu'il s'agit ici d'acides ajoutés seulement au milieu.

Or l'effet défavorable peut s'expliquer parce qu'il peut y avoir entre ces acides et les substances qui composent la liqueur de Knop certaines combinaisons, et ce sont peut-être les produits directs ou accessoires de ces combinaisons qui sont préjudiciables au développement.

Cette hypothèse émise, il y a lieu dès lors de rechercher l'effet de l'acide en présence de solutions qui seront composées chacune de l'une des substances qui entrent dans la formule de Knop ; et c'est ce que nous allons faire.

II. — Influence de l'acide oxalique en présence des solutions de substances isolées. — Nous avons donc préparé autant de solutions simples qu'il y a de substances entrant dans la composition du liquide de Knop. Ces solutions séparées ont conservé chacune leur concentration respective ; l'acide choisi a été l'acide oxalique à la dose de 0,5 o/oo.

La germination a eu lieu dans de petits pots remplis de sable de Fontainebleau ; et les liquides d'arrosage ont été les suivants :

I. — 1° Solution de Knop ; 2° solution de nitrate de chaux 1 o/oo ; 3° azotate de potasse 0,25 o/oo ; 4° sulfate de magnésie 0,25 o/oo ; 5° phosphate de potasse 0,25 o/oo.

II. — Mêmes solutions avec acide oxalique à 0,5 o/oo.

III. — 1° Eau ; 2° solution d'acide oxalique à 0,5 o/oo.

Il y a eu une légère avance dans l'apparition des plantules arrosées avec l'azotate de chaux additionné d'acide oxalique. Le développement est ensuite plus avancé dans les terrines qui ont reçu les solutions minérales avec acide que dans celles qui ont été arrosées avec les mêmes solutions sans acide. Les plantules arrosées avec de l'eau pure sont très en retard sur toutes les autres.

Nous donnons ci-dessous les poids frais et secs de 10 plantules prélevées dans chacun des lots :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Liqueur de Knop.....	0 gr. 388	0 gr. 023	16,8
Liqueur de Knop + acide oxalique	0 343	0 020	17,1
Nitrate de chaux.....	0 207	0 018	11,5
Nitrate de chaux + acide oxalique	0 548	0 023	23,8
Azotate de potasse.....	0 328	0 017	19,3
Azotate de potasse + acide oxalique	0 412	0 020	20,6
Sulfate de magnésie.....	0 330	0 017	19,4
Sulfate de magnésie + acide oxalique	0 443	0 022	20,1
Phosphate de potasse.....	0 418	0 020	20,9
Phosphate de potasse + acide oxalique	0 417	0 023	18,1
Acide oxalique à 0.5 o/oo.....	0 425	0 023	18,4
Eau.....	0 193	0 017	11,3

Toutes les solutions, qu'elles soient acides ou neutres, ont provoqué un accroissement du poids frais de la plante en augmentant sa teneur en eau ;

le poids sec, par contre, n'a été accru que par l'acide oxalique (soit seul, soit en présence des solutions minérales), par le phosphate de potasse et par la liqueur de Knop, additionnée ou non d'acide oxalique. Mais ici, avec cette solution, l'influence favorable a été moindre lorsqu'il y a eu addition d'acide que lorsque la solution est restée normale. Et cependant ce n'est pas ce qui se produit quand, au lieu d'employer cette solution de Knop, on emploie isolément les substances qui la composent, quelles que soient ces substances. Pour expliquer cette contradiction, il ne nous reste qu'une hypothèse possible : c'est que l'acide agisse, dans le liquide de Knop, non sur les sels mêmes qui y ont été introduits, mais sur les combinaisons nouvelles qui se produisent entre ces sels. On pourrait peut-être penser aussi à une trop forte acidité résultant de l'addition de l'acide, puisque déjà la solution de Knop présente une certaine acidité ; mais observons que c'est le même cas pour la solution de phosphate de potasse, qui est également déjà acide indépendamment de l'addition d'acide oxalique, et cependant le mélange de ces deux substances reste favorable.

Remarquons, incidemment, que l'azotate de chaux isolé n'est pas utilisé par la plantule ; il ne devient alimentaire qu'en présence de l'acide oxalique, et ces deux corps réunis ont presque doublé le poids frais.

Résumé général. — Lorsque les graines, au lieu de germer dans un milieu stérile comme le sable de Fontainebleau, sont mises à germer dans un milieu complexe, l'addition d'acide peut être favorable à la germination mais peut aussi être nuisible ; et le mode d'action dépend à la fois de l'espèce et de la composition du milieu. L'acidité donnera de bons résultats avec les graines de courge dans un terreau légèrement basique et ne sera pas favorable à la germination des graines de tomate dans le même terrain, ainsi que dans le sable arrosé avec la liqueur de Knop, dont la réaction est acide. L'antagonisme qui existe entre l'action de la liqueur de Knop et celle de l'acide disparaît lorsque l'influence de l'acide s'exerce en même temps que chacune des solutions constitutantes de la liqueur de Knop.

CHAPITRE IV

DOSAGE DE L'ACIDITÉ INTERNE DES PLANTULES DÉVELOPPÉES

EN MILIEUX ACIDES ET EN MILIEUX NEUTRES

Des nombreuses expériences que nous venons d'exposer il ressort clairement que les acides offerts à la plante dans des conditions convenables (concentration, nature du milieu extérieur) accélèrent son développement. C'est donc la preuve que ces acides sont utilisés et notre préoccupation actuelle est de rechercher par quels moyens.

Que devient l'acide après sa pénétration dans le végétal ?

Plusieurs hypothèses peuvent se présenter.

1° Ces acides introduits peuvent être saturés par les bases venues du sol, et augmenter ainsi la richesse saline de la plante.

MM. Berthelot et André ont établi que tel est le sort des acides organiques fabriqués par la plante elle-même.

Nous devons remarquer toutefois que, l'acide étant utilisé dans un sol absolument dépourvu de matières minérales solubles (sable siliceux), si la saturation se produit dans des conditions normales, ce n'est pas à ce phénomène seulement qu'est dû l'avantage pour la plante.

2° Ces acides peuvent être progressivement et plus ou moins complètement brûlés. C'était l'opinion de M. Purjewicz (1) et d'un certain nombre d'auteurs.

M. Astruc (2) l'admet aussi et il croit que la chlorophylle intervient pour réduire l'acide carbonique formé par la combustion. Elle fixerait le carbone et rejetterait l'oxygène, ce qui aurait pour conséquence une élévation du quotient respiratoire. La destruction des acides est, en effet, moindre

(1) PURJEWICZ : D'après un résumé de Vesque (*An. agronomiques*, 1894).

(2) ASTRUC : *Recherches sur l'acidité végétale* (Ann. des Sc. nat. 1903).

lorsqu'on supprime la fonction chlorophyllienne par l'emploi des anesthésiques à la lumière.

3° Les acides peuvent être transformés en hydrates de carbone comme l'a démontré M. Gerber (1) dans son étude sur la maturation des fruits.

4° Ils peuvent être éthérifiés par combinaison avec des alcools.

5° Les acides peuvent encore demeurer intacts dans le suc cellulaire. Ils favoriseraient peut-être ainsi l'action de certaines diastases, ce qui expliquerait l'accélération de la transformation des réserves que nous avons pu constater précédemment. Ils contribueraient peut-être aussi à augmenter la turgescence. En fait, l'avantage acquis par les plantules traitées par les acides a presque toujours été atteint, en partie, par l'augmentation de la teneur en eau. Mais ceci n'implique pas que les acides soient demeurés libres de toute combinaison, car M. Jumelle (2) a démontré que l'introduction de sels dans la plante accélère l'absorption d'eau et ralentit la transpiration. Et, si MM. Hugo de Vries et Aubert croient au parallélisme direct de la teneur en eau et de l'acidité interne, M. Astruc nie l'intimité de la relation chez les Crassulacées.

Nous avons donc cru utile de doser l'acidité des plantules à différentes époques de la germination et d'en comparer les valeurs chez les plantes qui reçoivent des acides et chez celles qui n'ont à leur disposition que de l'eau pure.

Mais deux cas : ou bien le milieu est stérile comme le sable de Fontainebleau, ou il est plus ou moins nutritif.

CULTURES EN MILIEUX NON NUTRITIFS

Les plantules sont pesées, puis broyées dans un mortier et épuisées par l'eau chaude. L'acidité est calculée pour 100 grammes de plantes fraîches ; elle est exprimée en centimètres cubes de liqueur décimale de soude nécessaires pour la neutralisation.

Plantules de tomate. — *Première expérience.* — La germination a eu lieu dans du sable de Fontainebleau, en présence de solutions d'acide oxalique, et d'acide malique. Les dosages ont été effectués le vingtième jour, en voici les résultats :

(1) GERBER : *Recherches sur la maturation des fruits charnus*. Thèse de Paris, 1897.

(2) JUMELLE : *Recherches physiologiques sur le développement des plantes annuelles*. Thèse de Paris, 1889.

	Acidité interne
Acide oxalique à 0,5 o/oo.....	34,95
» » à 1 o/oo.....	33,60
» » à 2,5 o/oo.....	39,30
Acide malique à 1 o/oo.....	35,19
Eau.....	34,83

Il n'y a pas de différence sensible entre l'acidité des plantules développées en présence des solutions à 0,5 et à 1 o/oo et celle des témoins. L'acide oxalique à 2,5 o/oo a, seul, augmenté un peu l'acidité interne.

Les plantules les plus développées sont, à cette époque, celles qui ont germé en présence des solutions faiblement concentrées ; il y a un retard manifeste pour celles qui sont traitées par l'acide oxalique à 2,5 o/oo. Ce sont donc les plantules les moins développées qui sont le plus acides.

Il n'y a pas de correspondance entre la teneur en eau et l'acidité interne, car le rapport $\frac{F}{S}$ est à cette époque le suivant pour les différents lots :

Acide oxalique à 0,5 o/oo.....	19
» » à 1 o/oo	18
» » à 2,5 o/oo.....	17
Acide malique..	16
Eau...	18

Deuxième expérience. — La germination s'est faite en présence des acides citrique, acétique, chlorhydrique et sulfurique et en présence de l'eau de chaux.

L'acidité a été déterminée le quinzième jour :

	Acidité interne
Acide citrique à 0,5 o/oo... ..	21
» » à 1 o/oo.....	15
» » à 2,5 o/oo.....	29
Acide acétique à 1 o/oo.....	28
» » à 2,5 o/oo.....	29
Acide chlorhydrique.....	24
Acide sulfurique.....	42
Eau de chaux.....	24
Eau.....	25

L'acide sulfurique a donc fortement augmenté l'acidité interne des plantules ; les acides organiques aux fortes concentrations ont agi dans le même sens, mais assez faiblement.

Les acides dilués ont provoqué une diminution de l'acidité interne.

L'eau de chaux n'a pas neutralisé les acides du végétal ; son action sur

l'acidité interne semble à peu près nulle, comme l'est aussi, du reste, celle de l'acide chlorhydrique.

Il n'y a pas de rapport entre l'acidité des plantules et leur teneur en eau, car les plantules les plus turgescentes sont celles qui se développent en présence de l'acide chlorhydrique, qui, d'autre part, n'a pas modifié l'acidité.

Troisième expérience. — On a étudié l'influence des substances du fruit. L'acidité interne, après vingt-deux jours de germination, est 19 avec le jus de tomates, 23,8 en présence de la décoction et 21,3 avec l'eau pure.

Nous avons vu ailleurs que ce même jus de fruit augmente le poids sec des plantules ainsi que leur turgescence, tandis que l'influence de la décoction s'exerce seulement sur la teneur en eau, qui est fortement élevée. L'acidité interne est donc légèrement diminuée par la solution la plus favorable.

Plantules de piment. — Ces plantules se sont développées en présence de solutions d'acides tartrique, malique et citrique.

Les dosages sont effectués le vingt-et-unième jour :

	Acidité interne
Acide tartrique à 0,5 o/oo.....	35,3
» » » 1 o/oo.....	31,4
» » » 2,5 o/oo.....	24,4
Acide malique à 0,5 o/oo....	32,6
» » » 2 o/oo....	26,8
Acide citrique à 0,5 o/oo....	26,6
Eau.....	31,5

Les solutions à 0,5 o/oo d'acide tartrique et d'acide malique ont donc augmenté l'acidité des plantules ; toutes les autres solutions l'ont, au contraire, diminuée.

Il n'y a aucune correspondance entre le développement des plantules, leur turgescence et leur degré d'acidité.

Plantules de courge. — L'acidité a été déterminée à deux reprises au cours du développement. Voici d'abord les résultats des dosages effectués après vingt-six jours de germination :

	Acidité
Acide oxalique à 0,5 o/oo	38,8
» 1 o/oo.....	28,1
» 5 o/oo.....	24,3
Acide tartrique à 0,5 o/oo.....	20,8
» 1 o/oo.....	27
» 5 o/oo.....	26,7

		Acidité
Acide citrique à 0,5	o/oo.....	34,5
» 1	o/oo.....	35,8
» 3	o/oo.....	32,3
Acide malique à 0,5	o/oo.....	26,8
» 1	o/oo.....	25,8
Eau.....		27,9

Les solutions d'acide tartrique qui sont les plus favorables à la germination ont provoqué une diminution sensible de l'acidité, mais, d'autre part, les solutions d'acide citrique et d'acide oxalique, dont l'action favorisante est réelle, l'ont, au contraire, augmentée. Il semble donc, dans ce cas, n'exister aucun rapport entre l'état du développement et l'acidité intérieure ; il n'y en a pas davantage entre celle-ci et la turgescence.

On a procédé à de nouveaux dosages trente-quatre jours après l'ensemencement. Les résultats ont été les suivants :

		Acidité
Acide oxalique à 1	o/oo.....	40,7
» 5	o/oo.....	55,8
Acide tartrique à 1	o/oo.....	28,8
» 3	o/oo.....	50
Acide citrique à 1	o/oo.....	35,1
» 3	o/oo.....	29,9
Acide malique à 0,5	o/oo.....	34,8
» 5	o/oo.....	38
Eau.....		42

On voit qu'il n'y a pas de concordance entre ces valeurs et celles que nous avons déterminées dans les premières séries de dosages. D'une façon générale, cependant, l'acidité a augmenté avec le temps, mais les écarts sont grands et ne peuvent s'expliquer ni par l'état de la turgescence, ni par celui du développement. Remarquons que nous n'avons opéré que sur un petit nombre de plantules, tandis que dans les premières expériences sur les plantules de tomate et de piment, qui sont bien plus petites, nous avons employé un grand nombre d'individus pour chacun des dosages. Les écarts actuels pourraient donc peut-être s'expliquer par les différences individuelles.

Plantules de citrouille. — Une première série de dosages a été effectuée cinq jours seulement après l'apparition des plantules. En voici les résultats :

		Acidité
Acide acétique à 1	o/oo.....	69,8
» 2,5	o/oo.....	66,6
Acide sulfurique.....		62,8
Eau.....		63,8

Les différences sont donc peu accusées. L'acide acétique a augmenté légèrement l'acidité, alors que l'acide sulfurique l'a diminuée. Notons que ce dernier acide avait agi d'une manière absolument différente sur les plantules de tomate puisqu'il avait augmenté considérablement leur acidité interne.

Nous donnons, ci-dessous, les résultats des dosages effectués sept jours plus tard :

	Acidité
Acide acétique à 1 o/oo	47
» 2,5 o/oo	35
Acide sulfurique	29
Eau	35

Les variations sont toujours dans le même sens. Il n'y a pas parallélisme entre l'élévation de l'acidité et celle de la turgescence, puisque la teneur en eau des plantules arrosées avec les solutions était inférieure à celle des plantules témoins. Remarquons que, contrairement à ce que nous avons observé dans l'expérience précédente, l'acidité a diminué avec le temps ; mais tenons compte aussi de cette différence : avec les plantules de citrouille, nous avons opéré le cinquième et le douzième jour du développement, tandis qu'avec celle de courge nous avons opéré le vingt-sixième et le trente-quatrième jour. Si les phénomènes sont analogues chez ces deux variétés de *Cucurbita pepo*, l'acidité diminuerait au début de la germination pour augmenter ensuite.

Plantules de pommier. — L'acidité, après un mois de germination, a été :

150 avec l'acide malique à 0,5 o/oo
116 » » » 1 o/oo
159 » » » 2,5 o/oo
182 avec l'eau pure

Ce sont les plantules les plus acides qui sont les plus turgescentes et les moins lourdes. L'acide extérieur diminue ici l'acidité interne.

Plantules de lupin blanc. — La germination a eu lieu en présence de l'acide tartrique à 0,5 o/oo, de l'acide citrique à 0,5 o/oo et de l'eau de chaux à 50 o/o. L'acidité a été dosée quatre jours après la sortie de terre des plantules. Il y avait un retard du développement en présence des acides, et un retard encore plus prononcé en présence de l'eau de chaux.

	Acidité
Acide tartrique 0,5 o/oo	36,8
Acide citrique 0,5 o/oo	45
Eau de chaux 50 o/o	38
Eau	46

Les acides et l'eau de chaux ont eu une action analogue ; ils ont diminué l'acidité des plantules.

Nous avons recommencé les dosages deux jours plus tard, mais cette fois, au lieu de choisir, dans chacun des lots, des plantes de développement moyen, qui présentaient par conséquent avec les échantillons prélevés dans les autres cultures des inégalités de taille et de différenciation, nous avons choisi autant que possible, dans les différents lots, des plantes ayant la même taille et parvenues au même stade de développement. (Les cotylédons étaient bien verts mais pas encore écartés.)

Acide tartrique.....	48
Acide citrique.....	52
Eau.....	36

Dans ces conditions, les plantules qui ont germé en présence des solutions acides ont une acidité interne plus forte.

L'explication serait donc celle-ci : Les acides absorbés par les lupins blancs augmentent l'acidité interne des plantules, mais comme, d'autre part, ils retardent le développement, la production d'acides à l'intérieur du végétal est moins grande ; et au total l'acidité interne semble diminuée par rapport à celle des témoins.

Plantules de colza. — La germination s'est faite en présence de l'acide tartrique et de l'acide oxalique, qui ont accéléré le développement. Le onzième jour, l'acidité était la suivante pour les différentes cultures :

	Acidité
Acide tartrique à 0,5 o/oo..	31
» » 1 o/oo....	24
Acide oxalique à 0,5 o/oo.....	32
Eau	32

L'acide tartrique à 1 o/oo a diminué sensiblement cette acidité ; il a, d'autre part, été très favorable au développement des plantules.

CULTURES EN MILIEUX NUTRITIFS

Nos milieux nutritifs ont été : 1° du terreau, 2° du sable arrosé avec le liquide de Knop, 3° du sable arrosé avec les solutions minérales isolées qui composent cette liqueur de Knop.

Plantules de courge se développant dans le terreau. — Nous donnons, avec le degré d'acidité, la teneur en eau des plantules :

	Acidité	$\frac{F}{S}$
Acide tartrique à 0,5 o/oo..	43,3	14,8
» » 1 o/oo..	30,8	20,6
Eau	32,7	14,5

Il n'y a donc aucun rapport entre la turgescence et l'acidité des plantules. L'acide à 1 o/oo a provoqué une diminution de l'acidité, qui correspond au développement maximum des plantules ; par contre, la dose 0,5 o/oo, qui est bienfaisante pour la germination, mais inférieure à l'optimum, a élevé cette acidité.

Plantules de tomate se développant dans le terreau :

	Acidité
Acide oxalique à 0,5 o/oo.....	22,8
Acide chlorhydrique.....	23,8
Eau.. .. .	23,9

On peut dire que les acides extérieurs ont été sans action sur l'acidité interne des plantules.

Plantules de tomate se développant en présence de la solution de Knop :

	Acidité
Acide citrique..... 0,5 o/oo	42,8
Acide tartrique..... 0,5 o/oo	36,9
Acide chlorhydrique..... 0,1 o/oo	36,5
Acide oxalique..... 0,25 o/oo	23,9
Acide oxalique.. .. . 0,5 o/oo	24,3
Liquueur de Knop... .. .	23,3

En présence de la liqueur de Knop, les acides ont provoqué une augmentation de l'acidité intérieure. On se rappelle que, dans ces conditions, ils ont eu une action nuisible sur l'accroissement.

Plantules de tomate se développant en présence de :

	Acidité
Liquueur de Knop... .. .	34,4
Liquueur de Knop + acide oxalique à 0,5 o/oo..	38,8
Azotate de potasse.....	32,7
Azotate de potasse + acide oxalique.....	27,1
Azotate de chaux	45,9
Azotate de chaux + acide oxalique.....	21,2
Phosphate de potasse.....	32,9
Phosphate de potasse + acide oxalique.....	34
Sulfate de magnésie.....	35,6
Sulfate de magnésie + acide oxalique.....	25,7
Acide oxalique à 0,5 o/oo.....	23,9
Eau.....	39,9

Comme dans l'expérience précédente, l'acide extérieur, en présence de la liqueur de Knop, augmente l'acidité interne ; mais il n'en est pas de même en

présence des solutions minérales isolées. Là, l'addition d'acide dans le milieu diminue l'acidité interne des plantules. Il y a cependant exception avec le phosphate de potasse, qui augmenterait plutôt cette acidité.

L'acidité des jeunes plantes est moins forte dans le sable arrosé avec la solution de Knop qu'elle ne l'est dans le sable arrosé avec de l'eau pure. Cette acidité est encore plus faible lorsque le sable a été arrosé avec une solution d'acide oxalique à 0,5 o/oo sans adjonction de substances minérales.

Résumé général. — Nous arrivons, en définitive, aux principales conclusions suivantes :

1° L'absorption des acides par les plantules n'augmente pas, en général, leur acidité intérieure ;

2° La teneur en eau n'est pas proportionnelle à l'acidité du suc cellulaire ; il y a souvent un rapport inverse ;

3° L'acidité semble plutôt varier avec l'état du développement. Elle est généralement plus forte chez les plantules les moins développées et diminue chez les plantules plus avancées et plus robustes.

D'après nos expériences, l'acidité diminuerait au début de la germination pour augmenter, dans certains cas, à la fin de la période germinative, lorsque, peut-être, les plantules commencent à souffrir d'inanition. Mais il y a des différences spécifiques, car avec les lupins blancs ce sont les plantules les moins développées qui sont aussi, au début de la germination, les moins acides.

Ces résultats tendraient à indiquer que l'acide est rapidement transformé dans le végétal.

CHAPITRE V

VARIATIONS DE L'ACIDITÉ DU MILIEU AU COURS DE LA GERMINATION

Nous avons donc établi, dans le chapitre qui précède, que l'acidité interne des plantules n'est pas nécessairement supérieure, lorsque la germination se fait en milieu acide, à ce qu'elle est dans les conditions normales.

Nous avons dû envisager aussi, au cours de ces recherches, la possibilité de réactions extérieures entre l'acide et certaines substances nutritives qui peuvent se trouver dans le milieu. On pourrait donc conserver un doute sur la réalité de l'absorption de l'acide par la jeune plante et attribuer l'accélération de la germination, que nous considérons comme une conséquence de cette absorption, à des effets secondaires de la présence de l'acide dans le milieu.

Telles sont les raisons pour lesquelles nous avons cherché à rendre indubitable la pénétration de l'acide dans le végétal. Mais, puisque nous ne pouvons retrouver cet acide dans la plante où il est rapidement transformé, nous avons dû tourner la difficulté en mettant en évidence sa disparition du milieu extérieur dans des conditions telles que la plante seule ait pu l'absorber.

Notre méthode actuelle de recherches a été exposée plus haut, nous n'y reviendrons pas ; contentons-nous de rappeler que des solutions acides, dont la concentration a été soigneusement reconnue, ont été mises en présence de jeunes plantules. Après un certain temps, les solutions ont été de nouveau dosées et nous avons établi, par différence, la quantité d'acide qui a pénétré dans la plante.

Les graines qui ont servi à ces expériences ont été choisies assez grosses pour qu'il fût possible de les manipuler facilement. C'étaient des graines de haricot, de soja, de chanvre, de blé et de maïs.

D'autre part, les acides choisis ont été l'acide citrique, l'acide tartrique et l'acide malique.

Première expérience. — Nous avons étudié les variations de l'acidité d'une solution à 1 o/oo d'acide citrique en présence de graines de *Phaseolus vulgaris*.

Des haricots, pesant 3 gr. 600, sont lavés au sublimé à 5 o/oo, puis à l'eau bouillie. Ils ont, d'après un calcul antérieur, un poids sec égal à 3 gr. 600 $\times$ 0,908 = 3 gr. 268.

Ces graines sont placées entre deux feuillets de ouate humide stérilisée. Au bout de quelques jours, les graines qui ont commencé à germer sont transportées dans une boîte de verre, où elles sont placées sur un treillis de tubes. Il y a dans la boîte 80 centimètres cubes d'une solution à 1 o/oo d'acide citrique, dont 10 centimètres cubes exigent pour être neutralisés 2 cm³ 4 d'une liqueur alcaline.

Les graines qui n'ont pas germé dans la ouate sont desséchées à l'étuve et pèsent ensuite 1 gr. 380. Les haricots placés sur la solution ont donc un poids sec égal à 3 gr. 268 — 1,380 = 1 gr. 888.

Lorsque les gemmules atteignent le couvercle de la boîte, il ne reste que 70 centimètres cubes de liquide dans celle-ci, et la neutralisation est réalisée avec 1 cm³ 75 de liqueur alcaline seulement pour 10 centimètres cubes. La concentration n'est donc plus que de $\frac{1 \times 1,75}{2,40} = 0,725$ pour 1000.

Les graines ont, en conséquence, absorbé d'abord $\frac{0 \text{ gr. } 275 \times 70}{1000} = 0 \text{ gr. } 019$, auxquels il faut ajouter la quantité d'acide contenue dans les 10 centimètres cubes qui ont été absorbés entièrement par la plante. Soit : $\frac{1 \text{ gr. } \times 10}{1000} = 0 \text{ gr. } 01$; ce qui fait un total de 0 gr. 019 + 0 gr. 01 = 0 gr. 029.

Les haricots ont, en définitive, absorbé par gramme de substance sèche :

$$\frac{0 \text{ gr. } 029}{1,888} = 0 \text{ gr. } 015.$$

Deuxième expérience. — Des haricots noirs pesant 10 gr. 255 sont lavés et agités avec de l'eau et du sable dans le but de détacher les germes adhérents à la surface. Ils sont ensuite stérilisés au moyen du sublimé à 5 o/oo et passés dans l'eau bouillie. On les porte alors dans une boîte de verre stérilisée qui contient une feuille de ouate humide.

Le 18 janvier à 11 h. 1/2, une partie des graines germées est transportée sur une solution d'acide citrique à 2,5 o/oo, dont 1 volume est neutralisé par 0 volume, 38 de liqueur de soude.

L'expérience est terminée le 26 janvier à 5 heures du soir. Les racines se sont allongées ; et la solution, dont le volume primitif était de 65 centimètres cubes, n'est plus maintenant que de 54 centimètres cubes, dont un volume n'exige plus pour la neutralisation que 0 volume, 36 de liqueur basique.

Il y avait primitivement dans la solution :

$\frac{2 \text{ gr. } 5 \times 65}{1000} = 0 \text{ gr. } 1625$ d'acide citrique. Il y a à la fin de l'expérience

$\frac{2 \text{ gr. } 5 \times 36 \times 54}{38 \times 1000} = 0 \text{ gr. } 1279$ d'acide. Il a donc disparu $162 \text{ mgr. } 5 - 127 \text{ mgr. } 9 = 34 \text{ mgr. } 6$ d'acide citrique.

En même temps que les haricots étaient mis à germer, un petit lot de graines de même provenance a été pesé à l'état frais, puis desséché à l'étuve; et le rapport $\frac{\text{poids sec}}{\text{poids frais}}$ a été 0,898. D'après ce rapport, le poids sec initial de nos graines est $10 \text{ gr. } 265 \times 0,898 = 9 \text{ gr. } 209$.

Les haricots qui n'ont pas été transportés sur la solution le 18 janvier ont été desséchés; leur poids sec a été de 4 gr. 247. Par conséquent, le poids sec des graines développées en présence de l'acide est : $9 \text{ gr. } 209 - 4 \text{ gr. } 247 = 4 \text{ gr. } 962$.

La durée de l'expérience ayant été de 8 jours 2 (si nous convertissons les heures en fractions décimales) l'absorption de l'acide a été, par jour et par gramme de poids sec : $\frac{34 \text{ mgr. } 6}{8,2 \times 4,962} = 0 \text{ mgr. } 85$.

Troisième expérience. — Des graines de *Soja hispida* sont pesées à l'état frais, puis sec, le 18 octobre. Le rapport de ces poids est ;

$$\frac{\text{Poids sec}}{\text{Poids frais}} = \frac{4 \text{ gr. } 985}{5 \text{ gr. } 490} = 0,908.$$

Le même jour, un certain nombre de graines pesant 15 gr. 460 sont stérilisées au sublimé à 1 o/oo, puis lavées à l'eau bouillie. Elles sont ensuite transportées dans une boîte stérilisée, sur de la ouate humide.

Le 23 octobre, la plupart ont germé ; certaines d'entre elles sont placées dans une boîte de verre contenant 60 centimètres cubes d'acide malique à 2 o/oo. Dix centimètres cubes de cette solution exigent, pour la neutralisation, 2^{cm^3} 25 d'une liqueur de soude.

Les graines non semées pèsent, après dessiccation à l'étuve, 10 gr. 500. Le lot initial avait un poids sec égal à $15 \text{ gr. } 460 \times 0,908$ c'est-à-dire 14 gr. 053. Le poids sec des graines mises en expérience est donc $14 \text{ gr. } 053 - 10 \text{ gr. } 500 = 3 \text{ gr. } 553$.

Le 23 octobre, les plantules mesurent 4^{cm^5} en moyenne et possèdent 4 ou 5 petites racines secondaires. Le tégument de la graine n'est pas encore tombé, mais il est en partie déchiré et les cotylédons ont verdi. Il ne reste plus dans la boîte de verre que 50 centimètres cubes de solution dont la neutralisation de 10 centimètres cubes n'exige plus que 2^{cm^3} 10 de liqueur alcaline.

Le contenu de la boîte témoin n'a pas varié.

Les germinations ont donc absorbé d'abord 10 centimètres cubes de solution à 2 o/oo, ce qui fait 8 gr. 02 d'acide malique. De plus, elles ont abaissé le titre de la solution, qui n'est maintenant que $\frac{2 \times 2,1}{2,25} = 1,86$ o/oo. Il y a donc une différence de : $2 \text{ gr.} - 1 \text{ gr. } 86 = 0 \text{ gr. } 14$ par litre ; soit une disparition de :

$$\frac{0 \text{ gr. } 14 \times 50}{1000} = 0 \text{ gr. } 007.$$

L'absorption d'acide malique est ainsi au total : $0 \text{ gr. } 02 + 0 \text{ gr. } 007 = 27$ milligrammes.

Ce qui fait une absorption quotidienne, pour l'unité de poids, de :

$$\frac{27 \text{ mgr.}}{3,553 \times 6} = 1 \text{ mgr. } 26.$$

Les graines de *Soja hispida*, en germant à la lumière diffuse, ont absorbé, par jour et par gramme de substance sèche, 1 mgr. 26 d'acide malique.

Quatrième expérience. — Le 20 novembre d'autres graines de *Soja*, pesant 14 gr. 485, sont placées dans une atmosphère humide, les conditions d'asepsie étant les mêmes que précédemment.

Cinq jours plus tard, certaines de ces graines sont mises en présence d'une solution à 5 o/oo d'acide malique dont un volume correspond à 0 volume 555 de liqueur de soude.

Le poids sec des graines qui n'ont pas germé est de 9 gr. 560.

L'expérience est terminée le 2 décembre. Les cotylédons sont très verts et le tégument déchiré est tombé d'un certain nombre de graines. Il reste 60 centimètres cubes de liquide qui s'est concentré, puisqu'un volume exige maintenant 0 volume 570 au lieu de 0 volume 555 de liqueur de soude.

Il y avait primitivement dans la solution $\frac{5 \text{ gr.} \times 70}{1000} = 0 \text{ gr. } 350$ d'acide.

On en retrouve $\frac{5 \text{ gr.} \times 570 \times 60}{555 \times 1000} = 0 \text{ gr. } 307$. L'absorption totale a été, par conséquent, de $350 \text{ mgr.} - 307 \text{ mgr.} = 43 \text{ mgr.}$ d'acide malique.

Le poids sec initial des graines étant $14 \text{ gr. } 485 \times 0,908 = 13 \text{ gr. } 152$, le poids des graines mises en contact de la solution est $13 \text{ gr. } 152 - 9,560 = 3 \text{ gr. } 592$.

L'absorption quotidienne a donc été égale, par gramme de matière sèche, à $\frac{43 \text{ mgr.}}{12 \times 3,592} = 0 \text{ mgr. } 99$.

L'absorption, on le voit, a été moins forte qu'avec la solution précédemment étudiée, qui était moins concentrée. Remarquons que la durée de l'expérience ici a été deux fois plus grande. Peut-être y aurait-il là une indication d'une absorption plus intense au début de la germination.

Cinquième expérience. — Trois grammes de grains de blé, traités par le sublimé à 1 o/oo, puis lavés à l'eau bouillie, sont mis à germer dans un cristalliseur en verre, dont le couvercle repose sur une bande de ouate, et qui contient 40 centimètres cubes d'acide citrique à 1 o/oo. Dix centimètres cubes de cette solution ont exigé 1 centimètre cube d'une liqueur de soude pour la neutralisation. Un centimètre cube de liqueur alcaline sature donc $\frac{1 \text{ gr.} \times 10}{1000}$ = 0 gr. 01 d'acide citrique.

Un autre cristalliseur semblable, contenant le même support et la même solution, mais sans graines, sert de témoin.

Après quatre jours, le blé a bien germé. Les plantules ayant été maintenues à l'obscurité sont jaunes et mesurent 8 centimètres. Le cristalliseur sans graines ne contient plus que 35 centimètres cubes de liquide dont 10 centimètres cubes ont exigé 0^{cm} 3 8 de liqueur alcaline pour la neutralisation. Il y a donc eu évaporation ainsi qu'une légère neutralisation par le verre ou par les ficelles qui maintiennent les tubes du treillis.

L'autre cristalliseur contient 34 centimètres cubes, dont 10 centimètres cubes correspondent à 0^{cm} 3 6 de la même liqueur de soude.

La perte de l'acidité dans le cristalliseur à blé par rapport au cristalliseur témoin correspond, en liqueur de soude à : $\frac{0^{\text{cm}^3} 2 \times 35}{10} = 0^{\text{cm}^3} 7$, c'est-à-dire à 0 gr. 01 $\times$ 0,7 = 0 gr. 007 milligrammes d'acide.

Les graines ont encore absorbé 1 centimètre cube de solution acide correspondant à $\frac{0^{\text{cm}^3} 6}{10} = 0^{\text{cm}^3} 06$ de liqueur de soude, c'est-à-dire à 0 gr. 01 $\times$ 0 gr. 0,06 = 0 gr. 0006 d'acide. Ce qui fait un total de 7 mgr. + 0 mgr. 6 = 7 mgr. 6.

1 gramme de blé a donc absorbé par jour à l'obscurité $\frac{7 \text{ mgr. } 6}{4 \times 3} = 0 \text{ mgr. } 63$.

Sixième expérience. — Même essai que le précédent, mais les boîtes de verre sont placées à la lumière au lieu d'être maintenues à l'obscurité.

L'acide citrique est encore employé à 1 o/oo. Les cristalliseurs reçoivent 40 centimètres cubes de solution, et l'un d'eux estensemencé avec 3 grammes de blé.

Après cinq jours les plantules vertes mesurent 8 centimètres. Il reste dans la boîte sans graines 36 centimètres cubes de solution, dont un volume correspond à 0 vol. 065 de liqueur alcaline.

La boîte à culture contient : 31 centimètres cubes dont 1 volume exige pour la saturation 0 vol. 045 de liqueur de soude.

Les plantules ont absorbé 5 centimètres cubes, correspondant à $5 \text{ cm}^3 \times 0,065 = 0 \text{ cm}^3 32$ de liqueur de soude ; elles ont de plus provoqué une diminution de l'acidité de la solution, qui correspond à $31 \text{ cm}^3 \times 0,02 = 0 \text{ cm}^3 62$ de liqueur alcaline.

L'acide absorbé en tout aurait donc été neutralisé par $0 \text{ cm}^3 32 \times 0 \text{ cm}^3 62 = 0 \text{ cm}^3 94$ de liqueur de soude. Il a donc un poids de $0 \text{ gr. } 01 \times 0,94 = 0 \text{ gr. } 0094$.

L'absorption par jour et par gramme de blé est $\frac{9 \text{ mgr. } 4}{5 \times 3} = 0 \text{ mgr. } 62$.

L'absorption est donc, dans ces essais, la même à la lumière et à l'obscurité.

Septième expérience. — Le 11 octobre un petit lot de grains de maïs, pesant 3 grammes à l'état frais, est desséché à l'étuve ; son poids s'abaisse ensuite à 2 gr. 837. Le rapport du poids frais au poids sec de ces grains est donc $\frac{3}{2,837} = 1,05$.

Le même jour, des grains semblables, pesant 11 gr. 385, sont lavés au sublimé à 2 o/oo, puis à l'eau bouillie. Ils sont ensuite mis à germer entre deux feuilles de coton, que l'on a fait bouillir au préalable dans l'eau. L'ensemble est placé entre deux assiettes qui ont été stérilisées au sublimé et lavées à l'eau aseptique. Les grains ayant germé le 15 octobre, certains d'entre eux sont transportés dans une boîte de verre avec support, contenant de l'acide malique à 2,5 o/oo. Les grains qui restent dans le coton sont desséchés à l'étuve, et ils pèsent alors 6 gr. 067.

Lorsque le poids sec de l'ensemble était $\frac{11 \text{ gr. } 385}{1,05} = 10 \text{ gr. } 842$, celui des grains portés sur la solution est de $10 \text{ gr. } 842 - 6 \text{ gr. } 067 = 4 \text{ gr. } 775$,

Nous avons supprimé la bande de ouate interposée entre le couvercle et les bords de la boîte de façon à empêcher l'évaporation. Les grains ont à leur disposition 60 centimètres cubes de solution acide, dont 10 centimètres cubes demandaient avant la stérilisation 3 centimètres cubes de liqueur alcaline pour être neutralisés.

Le 19 octobre, la boîte témoin contient encore 60 centimètres cubes de solution dont le titre n'a pas varié.

Les plantules de maïs qui étaient exposées à la lumière diffuse sont devenues vertes ; la boîte ne contient plus que 54 centimètres cubes de liquide, dont 10 centimètres cubes exigent toujours 3 centimètres cubes de liqueur alcaline pour la neutralisation.

L'acidité de la solution n'a donc pas varié, mais les maïs ont absorbé 6 centimètres cubes d'acide malique à 2,5 o/oo, c'est-à-dire $\frac{2 \text{ gr. } 5 \times 6}{1000} = 0 \text{ gr. } 015$.

L'absorption quotidienne a été pour l'unité de poids $\frac{15 \text{ mgr.}}{4,775 \times 4} = 0 \text{ mgr. } 78.$

Huitième expérience. — Les graines expérimentées sont toujours celles de maïs, mais nous allons maintenant les mettre en contact de solutions de plus en plus concentrées d'acide citrique.

Le lot de grains initial pèse 8 gr. 667 ; il a donc un poids sec égal à $8 \text{ gr. } 667 \times 0,9 = 7 \text{ gr. } 980.$ Nous avons rejeté 3 gr. 715 de graines desséchées, avant le transport sur la solution, qui est d'acide citrique à 1 o/oo.

Après 4 jours 2, le volume de la solution, qui était primitivement de 65 centimètres cubes, n'est plus que de 55 centimètres cubes ; la concentration n'a pas changé.

Il a donc disparu 10 centimètres cubes d'acide à 1 o/oo, soit 0 gr. 01. Le poids sec des graines placées sur la solution acide étant de 7 gr. 980 — 3 gr. 715 = 4 gr. 265, les graines ont absorbé par jour et par gramme $\frac{10 \text{ mgr.}}{4,2 \times 4,265} = 0 \text{ mgr. } 55$ d'acide citrique.

Neuvième expérience. — La solution d'acide citrique a été cette fois de 2, 5 o/oo. Le poids frais des grains mis à germer était de 8 gr. 520 ; le poids sec est, par conséquent, $8 \text{ gr. } 520 \times 0,9 = 7 \text{ gr. } 668.$ Mais un certain nombre de grains n'ont pas été transportés sur la solution parce qu'ils n'ont pas germé. Ces grains desséchés pesaient 5 gr. 030 ce qui réduit le poids des grains portés sur la solution à $7 \text{ gr. } 668 - 5 \text{ gr. } 030 = 2 \text{ gr. } 638.$

Après quatre jours, le volume du liquide a diminué de 7 cm^3 , mais la concentration n'a pas varié. Il a donc disparu $\frac{2 \text{ gr. } 5 \times 7}{1000} = 0 \text{ gr. } 0175$; et l'absorption quotidienne a été pour l'unité de poids $\frac{17 \text{ mgr. } 5}{4 \times 2,638} = 1 \text{ mgr. } 65.$

L'absorption de l'acide augmente donc avec la concentration.

On a vu qu'après nos expériences sur les graines de soja nous émettions l'hypothèse d'une diminution de l'intensité de l'absorption avec le temps ; nous allons maintenant essayer de vérifier cette hypothèse.

Dixième expérience. — Nous porterons de nouveau des grains de maïs au contact d'une solution à 2,5 o/oo d'acide citrique, mais nous augmenterons la durée de ce contact.

Le poids sec des graines mises à germer est de 18 gr. 437 ; mais 13 gr. 240 d'entre elles sont inutilisées, ce qui réduit à 5 gr. 197 le poids des grains semencés sur la solution.

Après dix jours de germination, il ne reste que 50 centimètres cubes du liquide sur 65 centimètres cubes. Toutefois, ce liquide restant s'est légèrement

concentré puisqu'à 10 centimètres cubes correspondent $3\text{cm}^3 7$ de liqueur basique, au lieu de $3\text{cm}^3 5$.

L'acide contenu dans la solution au début de l'expérience avait un poids de $\frac{2\text{gr.} 5 \times 65}{1000} = 0\text{ gr. } 1625$; il n'en reste plus que $\frac{2\text{gr.} 5 \times 50 \times 3,7}{1000 \times 3,5} = 0\text{ gr. } 13214$.

Les grains ont donc absorbé $0\text{ gr. } 1625 - 0\text{ gr. } 13214 = 0\text{ gr. } 03036$ et l'absorption, par jour et par gramme de substance sèche, a été de $\frac{30\text{ mgr. } 36}{10 \times 5,197} = 0\text{ mgr. } 58$.

Il résulterait de ces nombres que notre hypothèse semble bien fondée et que l'intensité de l'absorption diminue au cours du développement.

Onzième expérience. — Nous étudierons maintenant les variations d'acidité de solutions d'acide *tartrique*, toujours avec les mêmes grains de maïs.

Une solution à 5 o/oo, dont 10 centimètres cubes sont neutralisés par $6\text{cm}^3 5$ de liqueur décinormale de soude, a un volume primitif de 65 centimètres cubes. Elle contient $\frac{5\text{ gr.} \times 65}{1000} = 0\text{ gr. } 325$ d'acide.

Après quatre jours de contact avec des grains ayant un poids sec de 4 gr. 260, la solution n'est plus que de 61 centimètres cubes, dont 10 centimètres cubes sont toujours neutralisés par $6\text{cm}^3 5$ de liqueur décinormale.

Il y a donc eu une absorption de $\frac{5\text{ gr.} \times 4}{1000} = 0\text{ gr. } 02$; ce qui fait, par jour et par gramme de grains secs, $\frac{20\text{ mgr.}}{4 \times 4,260} = 1\text{ mgr. } 17$.

Douzième expérience. — Nous avons encore employé l'acide tartrique pour cette dernière expérience, mais nous avons considérablement augmenté le titre de la solution, qui est maintenant de 1 o/o.

Le poids sec des grains mis à germer est de 6 gr. $160 \times 0,9 = 5\text{ gr. } 544$; celui des grains non portés en présence de la solution est de 3 gr. 300.

Le volume du liquide, qui primitivement était de 65 centimètres cubes, n'est plus que de 56 centimètres cubes après 3 jours 3 de contact avec les grains; et la neutralisation, qui était réalisée avec $13,3\text{cm}^3 3$ de liqueur basique, en exige maintenant $13\text{cm}^3 9$.

L'acide contenu dans la solution, et dont le poids était, au début de l'expérience, $\frac{1\text{ gr.} \times 65}{100} = 0\text{ gr. } 650$, n'est plus que $\frac{1\text{ gr.} \times 56 \times 13,9}{100 \times 13,3} = 0\text{ gr. } 607$.

Les grains de maïs ont donc absorbé en tout $650\text{ mgr.} - 607\text{ mgr.} = 43\text{ mgr.}$ d'acide, ce qui fait par jour et par gramme une absorption de $\frac{43\text{ mgr.}}{3,3 \times 2,244} = 5\text{ mgr. } 88$.

Résultats. — 1° L'acidité des solutions mises au contact de graines en germination est sensiblement modifiée. Il y a souvent diminution de cette acidité, la plante ayant absorbé plus d'acide que d'eau ; cependant il peut y avoir, au contraire, concentration, lorsque l'absorption d'eau a été plus forte que celle des corps dissous. Mais, dans tous les cas, la quantité d'acide introduite primitivement dans la solution est notablement diminuée. Cet acide du milieu a donc été absorbé par la jeune plante.

2° Il résulterait encore de nos expériences que l'intensité de l'absorption des acides, très grande au début de la germination, diminuerait au cours du développement.

3° Les valeurs de cette absorption dépendraient encore de l'espèce végétale et de la nature des acides employés. Les grains de maïs, par exemple, absorbent plus d'acide tartrique qu'ils n'absorbent, toutes autres conditions égales, d'acide malique.

4° L'absorption des acides augmenterait avec la concentration des solutions.

5° L'éclairement ne modifierait pas l'intensité de cette absorption.

CHAPITRE VI

INFLUENCE DES ACIDES SUR LA RESPIRATION DES GRAINES EN VOIE DE GERMINATION

On sait que toute modification dans l'acidité de la plante a un retentissement immédiat sur les échanges respiratoires.

Cela a été démontré par un certain nombre d'auteurs, et en particulier par M. Purjewicz (1), qui a observé que la formation d'acides dans la plante coïncide toujours avec un abaissement du quotient respiratoire, tandis que la destruction de ces acides a, au contraire, pour conséquence d'élever notablement ce quotient.

De l'oxygène serait donc retenu pour la fabrication des acides ; et du gaz carbonique serait rejeté au moment de leur décomposition.

Ces faits expliquent les particularités de la respiration des plantes grasses. La diminution du rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$, que l'on observe la nuit chez ces plantes, n'est que la conséquence d'une formation intense d'acides, comme l'a bien démontré M. Astruc (2); et l'élévation du quotient respiratoire diurne est le résultat de la désacidification.

Des acides tout faits, offerts par le milieu à la plante, doivent, s'ils sont absorbés, exagérer la destruction d'acides et élever le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$. C'est précisément ce qui résulte d'une expérience déjà ancienne de M. Mangin (3), qui injectait de l'acide malique dans des feuilles de fusain et constatait que le quotient respiratoire était bien supérieur à celui des feuilles de même espèce

(1) PURJEWICZ : *De la formation et de la décomposition des acides organiques chez les plantes supérieures*. D'après un résumé de Vesque. (Annales agronomiques 1894).

(2) ASTRUC : *Recherches sur l'acidité végétale*. (Annales des Sciences naturelles 1903).

(3) MANGIN : *Sur les modifications apportées dans les échanges gazeux normaux des plantes par la présence des acides organiques*. (C. R. Académie des Sciences, 1889).

injectées d'eau distillée. Une même élévation du quotient respiratoire a été observée, depuis lors, par M. Purjewicz sur des plantules étiolées de blé et des plantules vertes de haricot mises en présence du malate de chaux, et par M. Gerber (1) sur des moisissures cultivées en milieu acide.

Il était donc à présumer que les acides que nous faisons absorber à nos graines modifient de même leurs échanges gazeux. Nous avons voulu nous en assurer, et pour cela nous avons étudié comparativement la respiration après l'absorption des acides et après l'absorption d'eau pure. Nous avons commencé nos recherches dès le début de la germination, sur des graines qui se sont seulement gonflées dans des solutions acides diverses. Si la respiration est déjà modifiée à cette époque, ce sera une preuve de plus de la pénétration rapide de ces corps dans la graine, en même temps qu'une indication nouvelle d'une décomposition prématurée.

I. — Influence de l'acide citrique sur la respiration des graines de piment. — Les graines ont été plongées pendant quarante-huit heures, d'une part dans une solution d'acide citrique à 1 o/oo, qui est la concentration optima pour leur germination, et, d'autre part, dans l'eau pure. Leur poids avant l'immersion était de 0 gr. 100 pour chaque lot.

Les graines gonflées ont été portées ensuite dans des tubes fermés, dont l'air a été analysé quinze heures plus tard.

Les graines qui ont été immergées dans la solution acide ont rejeté 0 cm³ 180 d'acide carbonique, alors que les témoins en ont émis 0 cm³ 215. Il y a donc eu une diminution de l'intensité respiratoire sous l'influence de l'acide.

D'autre part, le quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ a été 0,97 pour les graines gonflées en présence de l'acide ; il n'a été que 0,84 pour les graines qui se sont gonflées dans l'eau pure. L'acide citrique à 1 o/oo a donc déterminé une élévation du quotient respiratoire.

II. — Action de divers acides sur la respiration des graines de tomate. — Nous avons étudié successivement l'influence de quelques uns des acides dont nous avons déjà déterminé l'action sur le développement au cours des précédents chapitres. Ce sont les acides oxalique, malique, citrique et sulfurique.

1° *Acide oxalique.* — Nous avons employé d'abord des solutions très diluées : 0,5 o/oo, qui est la dose optima pour la germination, et 1 o/oo. L'immersion a duré vingt-quatre heures. Les graines, qui avaient été placées,

(1) GERBER : *Recherches sur la maturation des fruits charnus*. Thèse 1897.

par poids égaux, dans les différents liquides, ont été portées, après leur gonflement, dans des tubes à air confiné. Elles ont rejeté en seize heures les volumes suivants d'acide carbonique : 0cm³ 165 lorsque le liquide d'immersion était l'acide oxalique à 0,5 o/oo ; 0cm³ 162 avec 1 o/oo du même acide ; 0cm³ 102 lorsque le liquide d'immersion était l'eau.

Les valeurs du quotient respiratoire ont été : 1 et 1,04 avec les graines imbibées d'acide à 0,5 et à 1 o/oo, et 0,87 seulement avec les graines témoins.

L'acide oxalique en solutions diluées augmente, par suite, l'intensité respiratoire et le rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ des graines de tomate.

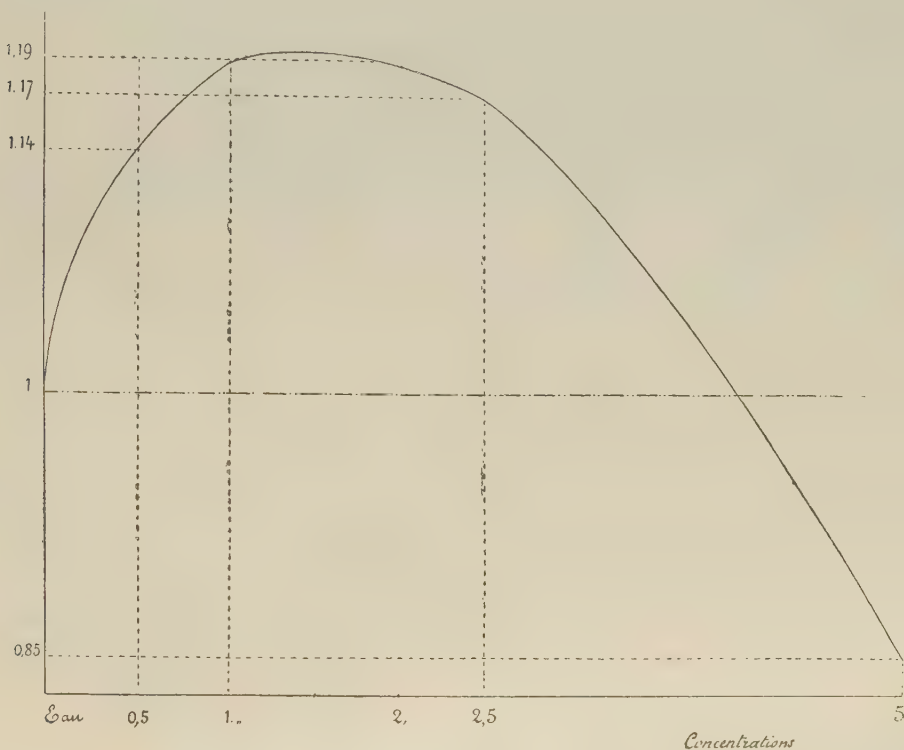


FIGURE 3.

Variations du quotient respiratoire des graines de tomate, en fonction de la concentration d'acide oxalique.

Sur l'axe des abscisses, nous indiquons les rapports du quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ des graines plongées dans l'acide à celui des graines plongées dans l'eau ; et sur l'axe des ordonnées, les concentrations des solutions.

Nous avons étudié maintenant l'action des doses plus élevées du même acide. Des lots de 150 milligrammes de graines ont été plongés pendant vingt-quatre heures dans l'acide oxalique à 2,5 et à 5 o/oo et dans l'eau pure. L'intensité respiratoire, cette fois, a été diminuée, puisque les graines ont dégagé,

pendant les vingt heures qui ont suivi leur sortie des liquides d'imbibition : 0 cm³ 140 avec l'acide oxalique à 2,5 o/oo ; 0 cm³ 145 avec le même acide à 5 o/oo, et 0 cm³ 214 avec l'eau pure. Le quotient respiratoire, qui est 0,82 chez les graines témoins, est encore augmenté par la solution à 2,5 o/oo : 0,96, mais il est amoindri par la solution à 5 o/oo : 0,70. Les résultats que nous venons d'obtenir avec les solutions de plus en plus concentrées d'acide oxalique sont schématisés par la courbe de la figure 3.

Dans une troisième expérience, nous avons fait gonfler nos graines dans des solutions d'oxalate de potasse à 1 o/oo et à 1 o/o. Il y a eu diminution de l'énergie respiratoire. Les quantités d'acide carbonique rejetées en dix-huit heures par des poids semblables de graines ont été 0 cm³ 207 après immersion dans la solution à 1 o/oo, 0 cm³ 179 après immersion dans l'oxalate à 1 o/o, et 0 cm³ 209 après immersion dans l'eau pure. Le rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ a été peu modifié puisque ses valeurs ont été 0,75 avec l'oxalate à 1 o/oo ; 0,76 avec l'oxalate à 1 o/o, 0,78 avec l'eau. Cependant il y aurait plutôt un abaissement de ce rapport.

Les réactions provoquées dans le végétal par l'arrivée de l'acide oxalique sont donc bien différentes suivant que ce corps est absorbé à l'état libre ou à l'état combiné.

2° *Acide malique*. — Des lots semblables de graines de tomate ont été plongés dans l'acide malique à 0,5 à 1 et à 2,5 pour 1.000. Après quarante-huit heures, on les place à l'obscurité dans des tubes dont l'air est analysé dix-huit heures plus tard.

	Volume de CO ₂ rejeté	Quotient respiratoire
Acide malique à 0,5 o/oo	0 cm ³ 229	0,93
» » à 1 o/oo	0 213	0,91
» » à 2,5 o/oo	0 202	0,91
Eau	0 236	0,72

L'acide malique diminue donc l'énergie des échanges respiratoires ; et l'amoindrissement est en rapport direct avec la concentration, comme le montre la courbe de la figure 4. Mais il élève, par contre, le quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$, sans qu'il y ait de proportionnalité entre cette élévation du quotient et la valeur de la dose employée.

3° *Acide citrique*. — Le 25 novembre, des lots de 150 milligrammes de graines ont été placés dans des récipients en verre contenant de l'acide citrique aux doses de 0,5 o/oo, 1 o/oo, 2,5 o/oo, 5 o/oo et de l'eau pure.

Après trente-huit heures nous avons jeté les liquides d'immersion, et trois lots de graines ont été portés dans les tubes à analyse. Après quarante nouvelles heures nous avons déterminé l'intensité et le quotient respiratoire.

	Volume de CO ² rejeté	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide citrique à 1 o/oo	0 cm ³ 344	0,93
» » à 5 o/oo	0 465	1,02
Eau.....	0 427	0,74

L'intensité respiratoire est accrue par la solution la plus concentrée ; le rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ s'élève aussi avec l'acide, la dose 5 o/oo semblant plus favorable que la dose 1 o/oo.

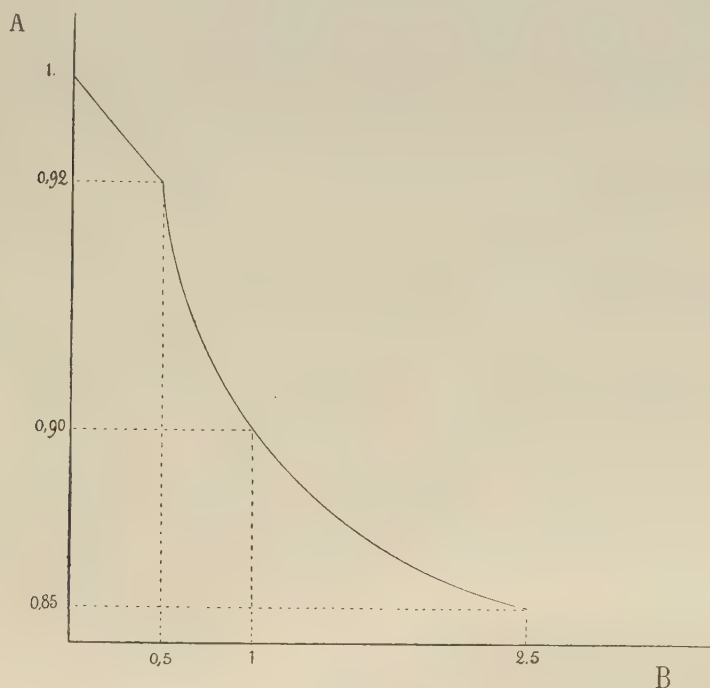


FIGURE 4.

Variations de l'intensité respiratoire des graines de tomate avec les concentrations d'acide malique. — A. Rapports des volumes de CO² rejetés par les graines, après immersion dans l'acide et après immersion dans l'eau. — B. Concentrations.

Les graines qui ont été plongées dans les solutions à 0,5 et 2,5 o/oo ont été placées pendant deux jours dans une atmosphère humide, ainsi d'ailleurs que des graines témoins; elles ont été transportées ensuite dans les tubes clos, où l'air est analysé quelques heures plus tard.

	Volume de CO ² dégagé	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide citrique à 0,5 o/oo	0 cm ³ 460	0,94
» » à 2,5 o/oo	0 500	1,08
Eau	0 300	0,72

Le quotient respiratoire des grâmes témoins n'a pas varié après les quarante heures de séjour dans l'atmosphère humide. S'il s'était élevé avec le temps on aurait pu supposer que l'acide n'agit qu'en accélérant les phénomènes germinatifs. Nous voyons qu'il n'en est rien et que l'excès d'acide carbonique émis, par rapport à l'oxygène absorbé, doit être attribué à des réactions propres à l'acide.

L'augmentation de l'énergie respiratoire a été plus grande que le premier jour; l'acide serait donc peut-être plus actif après un certain temps de séjour dans la graine.

Dans l'expérience qui suit, nous avons voulu rechercher l'influence des solutions encore plus concentrées du même acide. Nous avons employé les doses de 1 o/o et de 5 o/o. Après quarante-huit heures d'immersion, les grâmes ont été placées dans des tubes fermés dont l'air a été analysé six heures plus tard. Quoiqu'un accident ait empêché l'analyse du tube témoin (grâmes plongées dans l'eau), nous donnons les résultats de ces analyses :

	CO ² dégagé	Quotient respiratoire
Acide citrique 1 o/o	0 cm ³ 250	0,82
» » 5 o/o	0 184	0,72

Ces nombres prouvent que l'intensité des échanges gazeux et le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ ont cessé de s'accroître avec la dose 5 o/o.

En résumé, l'action de l'acide citrique sur le quotient respiratoire varie avec la concentration. De 0,5 à 2,5 o/oo, $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ va s'élevant, dépassant l'unité; à partir de 2,5 o/oo, l'élévation, d'abord très forte, va en décroissant, et à 50 o/oo le quotient est redescendu à la normale.

L'intensité respiratoire suit la même marche; elle s'accroît pour descendre ensuite.

La courbe de la figure 5 schématise les variations de $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ avec les concentrations d'acide citrique, jusqu'à 5 o/oo seulement. Elle descendrait vraisemblablement à 1 pour la dose 5 o/o.

4° *Acide sulfurique*. — Nous avons employé :

1° Une solution dont 1 volume est neutralisé par 0 volume 42 de liqueur décinormale de soude, c'est-à-dire de

$$\frac{1/2 \text{ molécule de } \text{SO}^4\text{H}^2}{10} \times 0,42 = 4 \text{ gr. } 9 \times 0,42 = 2 \text{ gr. } 15 \text{ par litre}$$

2° Une solution dont 1 volume correspond à 0 volume 15 de liqueur décinormale. Ce qui fait ;

$$\frac{1/2 \text{ molécule-gramme } \text{SO}^4\text{H}^2}{10} \times 0,15 = 4 \text{ gr. } 9 \times 0,15 = 0 \text{ gr. } 735 \text{ par litre.}$$

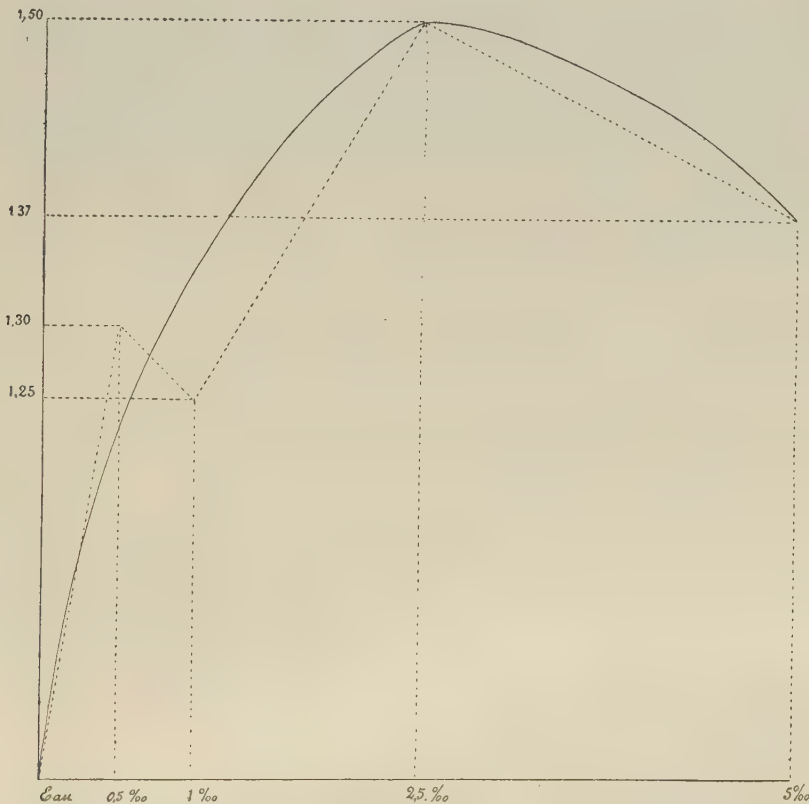


FIGURE 5.

Variations du quotient respiratoire des graines de tomate en fonction des concentrations de l'acide citrique.

Sur l'axe des abscisses, nous marquons les rapports des quotients ; sur l'axe des ordonnées, les concentrations.

Les graines sont plongées pendant quarante-huit heures dans l'eau et dans ces solutions. Elles ont ensuite respiré de la façon suivante :

	Quotients respiratoires	Volumes de CO ² émis
SO ⁴ H ² 0,735 o/oo.....	0,88	0 cm ³ 18
» 2,15 o/oo.....	0,84	0 12
Eau.....	0.75	0 18

L'acide minéral, comme les acides organiques, élève le $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ des graines de tomate, mais l'intensité de la respiration décroît à partir d'une certaine concentration. L'élévation du quotient ne peut s'expliquer par une décomposition de l'acide sulfurique; il est, par conséquent, à supposer qu'elle serait due à la destruction d'un acide organique mis en liberté par l'arrivée de l'acide minéral.

III. — Influence de divers acides sur les échanges respiratoires du blé au cours de la germination. — Nous avons choisi pour ces expériences l'acide citrique, l'acide oxalique et l'acide chlorhydrique.

1^o Acide citrique. — L'étude de la respiration a été commencée dès le réveil de la vie embryonnaire, au moment où les graines s'imbibent du liquide qui leur est offert.

Trois lots égaux de grains ont été plongés dans de l'eau et dans une solution d'acide citrique à la dose de 0,5 et 1 o/oo. Après vingt-deux heures, les grains sont placés dans un tube à essai renversé sur une cuve à mercure (les grains sont maintenus à l'extrémité du tube par du coton de verre humide). L'analyse de l'atmosphère confinée est faite après vingt-quatre heures.

	Liquide absorbé par les grains	Volume de CO ² dégagé	Quotient respiratoire
Acide citrique à 0,5 o/oo.....		0 cm ³ 478	0,86
» 1 o/oo.....		0, 393	0,86
Eau.....		0, 441	0,76

Nous voyons donc que, dès sa pénétration dans la graine, l'acide amène des modifications dans les échanges respiratoires. Il élève le rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$; d'autre part, son influence sur l'intensité de la respiration paraît variable suivant la dose employée.

Nous avons alors entrepris quelques autres expériences analogues, mais à une phase un peu plus avancée de la période germinative. Les graines ne se sont pas seulement gonflées, l'accroissement de l'embryon a commencé. Pour obtenir ces plantules, des poids égaux de grains de blé ont été semés dans des flacons contenant du sable de Fontainebleau humecté par l'eau ou par les solutions acides. Ces flacons sont fermés par un bouchon de caoutchouc dans lequel passe un tube coudé qui peut être mis en communication avec un appareil à prise de gaz. On peut à volonté renouveler l'air des flacons, et noter, étapes par étapes, ses modifications par des analyses successives.

Les cultures se sont conservées rigoureusement pures pendant toute la durée de l'expérience. Lorsque les plantules sont devenues grandes, il a été nécessaire de chasser le CO_2 accumulé au fond des flacons par un vif courant d'air obtenu par la compression d'une poire en caoutchouc.

Au moment de la sortie des radicules, quatre jours après l'ensemencement, une analyse a été faite.

Les grains avaient dégagé pendant vingt-six heures :

Avec l'acide citrique à 0,5 o/oo	4,74 o/oo d'acide carbonique
» » » 1 »	4,61 » » »
» l'eau.....	3,68 » » »

Le volume des flacons étant le même dans les trois cas, les chiffres donnent des rapports comparables.

Les quotients respiratoires ont été les suivants :

Avec l'acide citrique à 0,5 o/oo.....	0,89
Avec l'acide citrique à 1 o/oo.....	0,79
Avec l'eau... ..	0,84

L'acide a donc augmenté l'intensité des échanges gazeux ; son influence sur le rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ est moins nette, la solution à 0,5 o/o ayant été favorable, et la solution à 1 o/oo ayant été, au contraire, mauvaise à ce point de vue.

Une seconde analyse, faite quatre jours plus tard, a donné les résultats suivants, pour une respiration nocturne de seize heures :

	CO_2 dégagé pour 100	Quotient respiratoire
Acide citrique à 0,5 o/oo ...	4,14	0,86
» » 1 » ...	4,17	0,75
Eau	4,06	0,86

A cette époque, les deux solutions sont favorables à l'énergie respiratoire. Une troisième analyse est faite après quatre jours. En voici les résultats :

	CO_2 dégagé pour 100	Quotient respiratoire
Acide citrique à 0,5 o/oo....	5,48	0,88
» » 1 » ...	5,17	0,80
Eau	5,33	0,77

L'énergie respiratoire est de nouveau diminuée par la solution à 1 o/oo, solution qui est pourtant favorable au quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$.

La dernière analyse, faite six autres jours plus tard, se rapporte à des plantules bien développées et vertes :

	CO ² dégagé pour 100	Quotient respiratoire
Acide citrique à 0,5 o/oo....	4,83	0,82
» » 1 » .	4,73	0,72
Eau	4,04	0,77

L'examen du graphique ci-après (*fig. 6*) montre clairement que l'acide citrique à 0,5 o/oo a notablement élevé le quotient respiratoire. Les quantités du gaz carbonique rejeté par rapport à l'oxygène absorbé sont donc plus grandes que dans la germination normale.

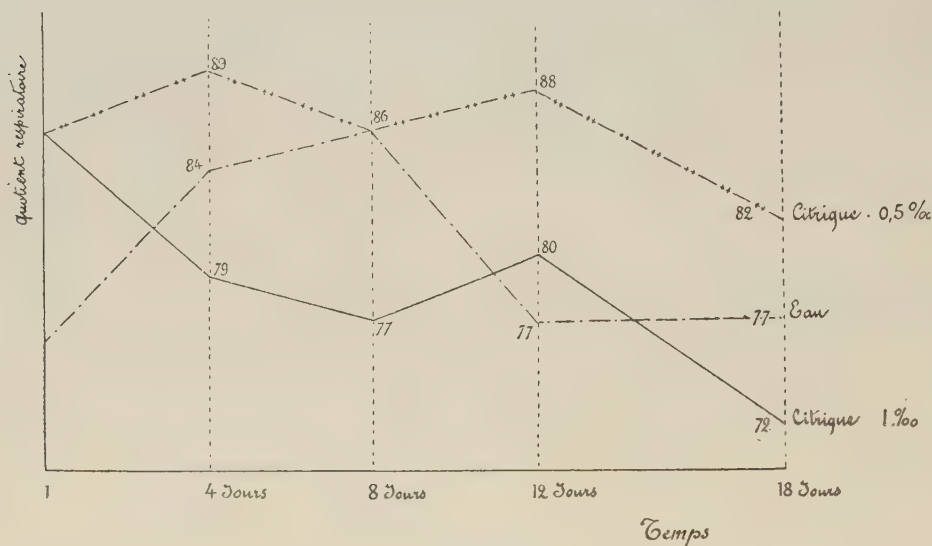


FIGURE 6.

Variations du quotient respiratoire des grains de blé au cours de la germination en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo, de l'acide citrique à 1 o/oo et de l'eau pure.

L'acide citrique à 1 o/oo élève aussi le quotient respiratoire à ce stade premier de la germination qui correspond à l'imbibition des graines ; mais plus tard il amoindrit, au contraire, les valeurs de ce quotient, excepté à l'époque où nous avons fait la quatrième analyse.

Pour donner un aperçu des variations de l'intensité respiratoire, les volumes de CO² n'étant pas comparables d'une analyse à l'autre, puisqu'ils n'ont pas été dégagés pendant le même temps, nous avons dû calculer chaque fois le rapport $\frac{A}{E}$ des volumes de CO² dégagés en présence de l'acide et de l'eau, rapports que nous reproduisons dans le tableau suivant :

	Volume de CO ² dégagé			$\frac{A}{E}$	
	avec l'eau	avec 0,5 o/oo d'acide	avec 1 o/oo d'acide	acide à 0,5 o/oo	acide à 1 o/oo
1 ^{er} jour	441mm ³	478mm ³	393mm ³	1,08	0,89
4 ^{me} jour	3,68 o/o	4,74 o/o	4,61 o/o	1,28	1,25
8 ^{me} jour	4,06 o/o	4,14 o/o	4,17 o/o	1,01	1,02
12 ^{me} jour	5,33 o/o	5,48 o/o	5,17 o/o	1,02	0,97
18 ^{me} jour	4,04 o/o	4,80 o/o	4,73 o/o	1,18	1,17

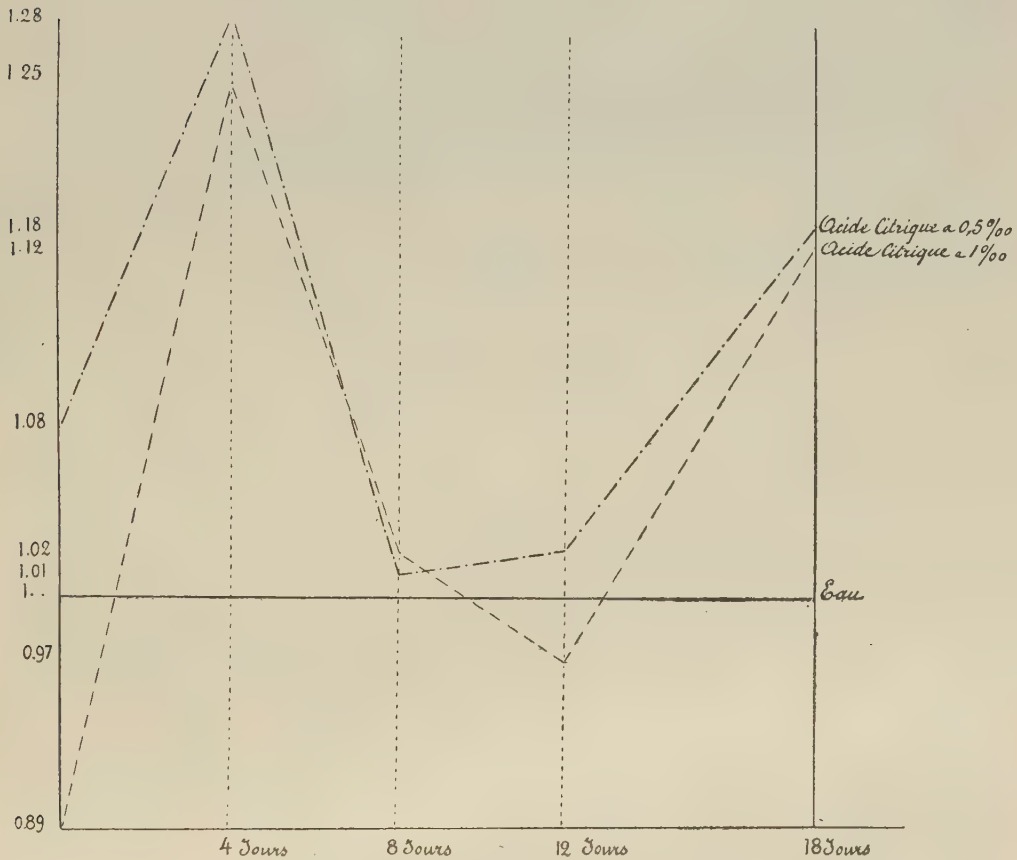


FIGURE 7.

Modifications apportées à l'intensité respiratoire des grains de blé, au cours de la germination, par l'acide citrique à 0,5 et à 1 o/oo.

Sur l'axe des abscisses, sont portées les valeurs du rapport $\frac{A}{E}$, sur l'axe des ordonnées, l'époque des analyses.

L'acide citrique à 0,5 o/oo donne toujours un rapport $\frac{A}{E}$ supérieur à 1 ; il augmente donc l'énergie de la respiration d'une façon constante. Le même

acide, à la dose de 1 o/oo, agirait le plus souvent de même ; cependant, il a, par contre, affaibli à deux reprises cette intensité respiratoire, une première fois au moment du gonflement des graines, et une seconde fois le douzième jour du développement. Ces résultats sont schématisés par le graphique de la figure 7.

En résumé, la solution d'acide citrique à 0,5 o/oo élève à la fois le quotient respiratoire et l'intensité de la respiration pendant toute la durée de la germination du blé. — La solution à 1 o/oo a des effets différents : elle abaisse le quotient $\frac{\text{CO}^3}{\text{O}}$, sauf au début de la germination et le douzième jour ; elle augmente l'énergie de la respiration, sauf aux deux mêmes époques.

2° *Acide oxalique.* — Des poids égaux de grains de blé sont placés pendant vingt-quatre heures dans des vases de verre contenant de l'eau, de l'acide oxalique à 0,5, à 1 et 2,5 o/oo.

Les grains sont ensuite transportés dans des éprouvettes à air confiné dont l'analyse est faite quelques heures plus tard.

		Volumes CO ² dégagés en 1 heure	Quotient respiratoire
Acide oxalique	0.5 o/oo	0cm ³ 487	0,90
»	» 1 o/oo	0 345	0,93
»	» 2,5 o/oo	0 330	1,30
Eau		0 505	0,91

L'acide oxalique diminue d'autant plus l'énergie respiratoire que la concentration est plus élevée. Les faibles doses ne modifient pas le rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ mais 2,5 o/oo l'élève au-dessus de l'unité.

(Après trois jours les radicules étaient sorties de toutes les graines, sauf de celles qui avaient séjourné dans l'acide à 2,5 o/oo).

3° *Acide chlorhydrique.* — Nous avons vu précédemment que l'acide citrique augmente le quotient respiratoire et l'intensité des échanges gazeux chez le grain de blé ; nous avons maintenant voulu reconnaître si un acide minéral absorbé par la graine amènerait des réactions analogues.

Nous avons donc placé pendant quarante-huit heures des grains de blé d'une part dans l'eau pure, de l'autre dans de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique. Nous avons calculé les proportions de façon à donner aux solutions une acidité correspondant à $\frac{1}{10}$ et à $\frac{2}{10}$ de liqueur décimale de soude. Nous avons donc employé des solutions contenant par litre le dixième du poids moléculaire multiplié par les fractions ci-dessus :

$$\text{Pm. HCl} = 36 \text{ gr. } 5 \frac{36 \text{ gr. } 5 \times 1}{10 \times 10} = 0 \text{ gr. } 365 \quad \frac{36 \text{ gr. } 5 \times 2}{10 \times 10} = 0 \text{ gr. } 73$$

	Quotients respiratoires	Volumes CO ² dégagé
Solution HCl $\frac{1}{10}$ ou 0,365 o/oo	1	0cm ³ 889
» $\frac{2}{10}$ ou 0,73 o/oo	1	0 744
Eau,	0,78	1 400

L'acide chlorhydrique a donc le même mode d'action générale que les acides organiques : il élève le quotient respiratoire des grains de blé. Toutefois la concentration est sans effet sur cette valeur.

L'intensité des échanges gazeux est diminuée par l'influence de cet acide, et la diminution est d'autant plus forte que la dose employée est plus élevée.

IV. — Action de divers acides sur le quotient respiratoire des graines de Ricin et de leurs organes constitutifs. — Nous avons étudié successivement l'influence de l'acide citrique, de l'acide malique et de l'acide tartrique.

1° *Acide citrique.* — Une première expérience nous ayant donné comme quotient respiratoire 0,61 après immersion des graines dans l'acide citrique à 0,5 o/oo, et 0,62 après immersion dans l'eau pure, nous avons pensé que cette exceptionnelle insensibilité de $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ à l'égard de l'acide était peut-être due à une respiration différente pour l'albumen et pour l'embryon, la première masquant peut-être la variation de la seconde.

Nous avons donc effectué une nouvelle expérience sur l'influence de l'acide citrique à 0,5 o/oo, que nous avons fait agir séparément sur l'embryon et sur l'albumen. Pour cela, les graines ont été séparées de leur tégument, comme d'ailleurs dans toutes les expériences qui suivent, puis on les a fait tremper dans l'eau pendant vingt-quatre heures, dans le but de rendre plus facile la séparation de l'embryon. Puis, l'isolement des albumens et des embryons ayant été fait nous avons plongé ces organes soit dans l'eau, soit dans l'acide ; l'immersion a été encore de vingt-quatre heures, après lesquelles il y a eu transport dans les tubes à analyse. Les quotients respiratoires ont été les suivants pour les différentes parties de la graine :

	Albumens	Embryons	Graines entières
Acide citrique à 0,5 o/oo.....	0,74	1,28	0,59
Eau.....	0,76	1,26	0,62

L'action de l'acide est donc aussi nulle sur les embryons et sur les albumens qu'elle l'est sur les graines entières.

La séparation des organes a eu, par contre, l'effet d'élever le quotient respiratoire à la fois des albumens et des embryons. Ces derniers sont encore plus sensibles à ce point de vue que les albumens, puisqu'ils donnent, une fois isolés, un quotient très supérieur à l'unité. Nous avons pensé que l'élévation du quotient pouvait être, dans ce cas, le résultat du sectionnement ou encore des blessures qui ont pu être faites aux cotylédons si fins et si délicats de l'embryon de ricin ; la surface de l'albumen qui adhère aux cotylédons a pu aussi, au moment de la séparation, recevoir quelques piqûres qui ont occasionné la légère augmentation de $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ que nous avons observée sur ces albumens isolés. Cette hypothèse serait bien en contradiction avec les résultats obtenus par M. Stich, qui a constaté un fort abaissement du quotient respiratoire sous l'influence des blessures, mais elle s'accorderait avec les observations de M. Gerber sur le sectionnement des pommes acides et celles de M. Astruc sur celui des plantes grasses.

Pour nous assurer de la valeur de notre hypothèse, nous avons tenté une troisième expérience en vue de connaître d'une façon plus précise l'influence du sectionnement des graines de Ricin sur la respiration.

Les graines ont été plongées dans l'eau pendant dix-huit heures. Certaines d'entre elles étaient ensuite débarrassées de la fine membrane qui les entoure (l'immersion préalable était nécessaire pour faciliter cette opération) ; d'autres étaient largement sectionnées dans le plan parallèle aux cotylédons et de chaque côté de ces organes ; les autres restaient normales. La respiration des graines ainsi traitées a donné les résultats suivants :

	Quotient respiratoire
Graines sans pellicule.....	0,55
» sectionnées.....	0,51
» entières.....	0,56

Le sectionnement des graines a abaissé légèrement le quotient respiratoire. Il faut donc chercher ailleurs que dans les blessures qui ont pu être faites à l'embryon et à l'albumen au cours de leur isolement la cause de l'élévation de $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ de ces organes libres.

Remarquons que, pour subsister, l'embryon, comme l'albumen, lorsque l'un ou l'autre sont isolés, doivent se nourrir par auto-digestion. Or, l'albumen est riche en hydrates de carbone et en corps gras dont la décomposition se fait avec un quotient inférieur à l'unité. L'embryon, lui, est extrêmement

pauvre ; ses cotylédons si ténus ne renferment qu'une quantité infime de ces substances, mais ils contiennent, en revanche, de notables proportions d'acide, et ce serait la destruction de ces corps qui élèverait le quotient au-dessus de l'unité.

L'albumen présente bien aussi une réaction acide, et les perturbations provoquées par la séparation d'avec l'embryon amènent, sans doute, encore une décomposition plus grande de ces corps qui serait la cause de l'élévation du quotient ; mais ici l'oxydation de la masse des corps gras masque en grande partie ces réactions et le quotient reste inférieur à 1.

2° *Acide malique*. — L'immersion dans l'eau et dans l'acide à 0,5, à 1, et à 2,5 o/oo a duré trois jours. Les graines ont ensuite respiré pendant vingt-deux heures dans les tubes, dont l'analyse de l'air a fourni les résultats suivants :

	Quotient respiratoire
Acide malique 0,5 o/oo.....	0,66
» » 1 o/oo.....	0,64
» » 2,5 o/oo.....	0,69
Eau.....	0,67

L'acide malique est sans influence sur le quotient respiratoire des graines de Ricin ; il se comporte en cela comme l'acide citrique et comme l'acide tartrique.

C'est à la suite de ces diverses expériences que nous avons tout d'abord pensé que la graine de Ricin est insensible, au point de vue tout au moins de la respiration, à l'action des divers acides ; et nous avons signalé cette constatation dans une note parue en 1911 (1).

Depuis lors, les résultats si concluants que nous avons obtenus avec toutes les autres graines grasses que nous avons expérimentées nous ont amenée à revenir sur cette particularité difficilement explicable. Nous avons alors supposé que les concentrations d'acide dont nous avons fait usage, et qui étaient suffisantes avec les autres espèces pour élever $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$, n'étaient peut-être pas assez fortes pour les semences de Ricin. Aussi nous avons recommencé quelques expériences qui nous ont, en effet, amenée à modifier nos premières conclusions.

3° *Acide tartrique*. — Les graines ont été plongées dans des solutions à 5 o/oo et à 1 o/o pendant dix-huit heures. Nous les avons transportées ensuite

(1) G. PROMSY : *De l'influence de l'acidité sur la germination* (C. R. de l'Académie des Sciences ; 1911).

dans des tubes à air confiné, dont l'analyse nous a permis de calculer le volume d'acide carbonique dégagé en une heure par l'unité de poids, ainsi que le quotient respiratoire.

	CO ² -gramme-heure	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide tartrique à 5 o/oo	0cm ³ 048	0,64
» » à 1 o/oo	0 045	0,70
Eau.....	0 031	0,43

Comme on le voit, les solutions fortement concentrées déterminent maintenant une légère élévation du quotient, ainsi qu'une augmentation de l'intensité respiratoire.

Nous avons voulu alors reconnaître l'action des solutions encore plus concentrées du même acide et nous avons plongé nos graines dans l'acide à 5 o/o et à 10 o/o.

Cette fois, nous avons obtenu 0,62 comme quotient respiratoire des graines témoins ; mais les autres graines n'ont pas respiré. Les solutions acides trop fortes les avaient tuées.

On peut donc conclure que *les graines de Ricin sont moins sensibles que la plupart des autres graines à l'action des acides*, puisque les solutions diluées sont sans effet sur leur respiration. Cependant *les solutions concentrées amènent une légère augmentation de l'intensité respiratoire et du quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ qui ne dépasse pourtant pas l'unité.*

V. — Influence des acides sur la respiration de diverses autres graines. — Nous continuons maintenant cette étude d'une façon un peu plus rapide, puisque nous nous contentons, le plus souvent, de reconnaître l'influence d'un seul acide sur les graines d'une espèce donnée.

1° *Action de l'acide malique sur les grains de maïs.* — Les grains ont été immergés pendant cinquante heures dans des solutions à 0,5 o/oo, 1 o/oo et 2,5 o/oo et dans l'eau pure. Nous donnons ci-dessous les volumes d'acide carbonique dégagés pendant des temps égaux, ainsi que les valeurs du quotient respiratoire :

	CO ² dégagé	Quotient respiratoire
Acide malique à 0,5 o/oo.....	0cm ³ 060	1,24
» » 1 o/oo.....	0 063	1,14
» » 2,5 o/oo.....	0 068	1,24
Eau.....	0 056	0,87

On voit que l'acide malique augmente l'intensité respiratoire et le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ des graines de maïs.

2° *Action de l'acide malique sur les graines de pommier.* — Les résultats qui suivent, ayant été relevés au cours d'une expérience sur les modifications de la respiration intramoléculaire, ne portent que sur une seule concentration d'acide ; nous les croyons cependant suffisants pour montrer que les graines de pommier suivent la loi générale.

Les graines ont été immergées pendant vingt-neuf heures :

	Quotients respiratoires	CO ² -gramme-heure
Acide malique à 2,5 o/oo.....	1,16	0 cm ³ 045
Eau.....	0,83	0 039

Le quotient respiratoire et l'intensité des échanges sont augmentés par l'acide malique.

3° *Action de l'acide oxalique sur les arachides.* — Nous avons employé des solutions à 0,5 et à 1 o/oo, dans lesquelles les graines ont séjourné pendant vingt heures. Les volumes d'acide carbonique dégagés ont été rapportés à l'unité de poids, et ils ont été émis durant des temps égaux :

	Volume de CO ² -dégagé	Quotient respiratoire
Acide oxalique à 0,5 o/oo.. .	0 cm ³ 206	0,72
» » 1 »	0 207	0,83
Eau.....	0 137	0,50

Le quotient respiratoire s'élève avec les doses de plus en plus fortes d'acide oxalique. L'activité de la respiration est aussi augmentée, mais il n'y a pas de proportionnalité entre la concentration et l'intensité des échanges gazeux.

4° *Action de l'acide citrique sur les graines d'Elæis guineensis, variété madagascariensis.* — Ces graines de palmier ont été plongées pendant quarante-huit heures dans des solutions à 0,5 à 1 et 2,5 o/oo et dans l'eau pure. Elles ont ensuite respiré très faiblement, mais d'une façon très variable dans les différents cas, comme le prouvent les quotients respiratoires suivants :

Acide citrique à 0,5 o/oo.....	1,11
» » 1 »	1,16
» » 2,5 »	1,54
Eau.....	0,63

L'acide citrique a donc augmenté notablement le quotient respiratoire de ces graines et cela d'autant plus que la concentration employée a été plus forte.

5° *Action de l'acide citrique sur les graines de chanvre.* — La durée de l'immersion de ces graines a été de vingt-quatre heures. Les solutions choisies ont été de 0,5, de 1 et de 2,5 o/oo d'acide. L'étude de la respiration a donné les

rapports $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ suivants :

Acide citrique à 0,5 o/oo.....	0,96
» » 1 »	0,80
» » 2,5 »	0,81
Eau.....	0,82

La solution à 0,5 o/oo a, seule, élevé le quotient respiratoire ; l'optimum d'acide à ce point de vue serait donc placé très bas.

6° *Influence de l'acide citrique sur les graines de courge.* — Ces graines ont été plongées pendant vingt-quatre heures dans des solutions à 0,5 et à 1 o/oo.

Les modifications de l'intensité respiratoire n'ont pas été recherchées, mais les rapports $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ ont été les suivants :

Acide citrique 0,5 o/oo.....	1,08
» » 1 »	1,07
Eau.....	0,92

L'acide citrique élève donc le rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ des graines de courge.

7° *Action de l'acide oxalique sur les graines de sésame.* — Les concentrations employées ont été 0,5 o/oo, 1 o/oo, 2,5 o/oo et 5 o/oo ; la durée de l'immersion des graines a été de vingt-quatre heures.

Nous donnons ci-dessous les valeurs du quotient respiratoire, ainsi que celles du coefficient CO^2 -gramme-heure :

	Quotient respiratoire	CO^2 -gramme-heure
Acide oxalique à 0,5 o/oo.....	0,95	
» » 1 »	1	0cm ³ 100
» » 2,5 »	0,93	0 070
» » 5 »	0,95	0 074
Eau.....	0,82	0 109

L'acide oxalique élève par suite le quotient respiratoire des graines de sésame, tandis qu'il diminue l'intensité des échanges gazeux. La solution optima pour le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ est 1 o/oo.

8° *Influence de l'acide oxalique et de l'acide citrique sur les graines de pavot.* — Dans une première expérience, nous recherchons les modifications apportées à la respiration par un séjour de quarante heures dans des solutions à 0,5 o/oo, 1 o/oo et 2,5 o/oo d'acide oxalique. Les volumes d'acide carbonique ont été rapportés à l'unité de poids et de temps :

	CO ² gramme-heure	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide oxalique à 0,5 o/oo.....	0cm ³ 028	0,70
» 1 o/oo.....	0 021	0,72
» 2,5 o/oo.....	0 022	0,84
Eau.....	0 050	0,75

Les solutions d'acide oxalique diminuent donc considérablement l'énergie des échanges gazeux ; leur action sur le quotient respiratoire est une augmentation à partir de la dose 2,5 o/oo.

Dans une seconde expérience, nous avons immergé les graines, dans des solutions à 0,5 et à 1 o/oo d'acide citrique. La respiration a été modifiée comme l'indiquent les chiffres suivants :

	CO ² gramme-heure	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide citrique à 0,5 o/oo.....	0,044	0,83
» 1 o/oo.....	0,051	0,95
Eau	0,048	0,83

L'acide paraît sans influence sur l'intensité respiratoire ; la concentration 1 o/oo élève le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$.

9° *Action de l'acide citrique sur la respiration des graines de Mesembryanthemum crystallinum.* — Les graines ont été immergées pendant vingt-quatre heures dans des solutions à 0,5, 1 2,5 et 5 o/oo. Elles ont respiré ensuite, en donnant les quotients $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ suivants :

Acide citrique à 0,5 o/oo.....	0,87
» 1 o/oo..	0,87
» 2,5 o/oo.....	0,96
» 5 o/oo.... ..	1,16
Eau.....	0,77

Les solutions de plus en plus concentrées ont donc élevé progressivement le quotient respiratoire.

10° *Action de l'acide citrique sur les graines de Jatropha mahafalensis.* — Le 18 août, des graines ont été plongées dans des solutions d'acide citrique à 1, à 2,5 et à 5 o/oo et dans l'eau. Après quinze heures d'immersion on les transporte dans des tubes clos, dont l'air est analysé après cinq heures environ :

	Quotients respiratoires	Température 30°
Acide citrique à 1 o/oo.....	0,76	—
» 2,5 o/oo.....	0,86	—
» 5 o/oo.....	0,84	—
Eau.....	0,54	—

On voit que les graines de *Jatropha mahafalensis* suivent la règle générale : leur quotient respiratoire s'élève après l'absorption d'un acide.

11° *Action de l'acide citrique sur la respiration des graines de l'igname ndra* — Trente milligrammes de ces graines, appartenant à une espèce encore indéterminée de Madagascar, et que nous désignerons donc provisoirement sous son nom indigène, ont été placés dans l'acide citrique à 5 o/oo, un autre poids égal dans l'eau, pendant vingt-quatre heures. Les graines sont ensuite transportées dans des tubes dont l'atmosphère est analysée après trente heures de séjour.

	CO ² -gramme-heure	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide citrique à 0,5 o/oo.....	0cm ³ 067	0,85
Eau.....	0 074	0,87

L'action de l'acide semble diminuer l'activité des échanges gazeux et paraît à peu près nulle sur le quotient.

Une seconde analyse a été effectuée soixante heures plus tard et nous a donné des résultats différents :

	CO ² -gramme-heure	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide citrique à 0,5 o/oo.....	0cm ³ 069	1,11
Eau.....	0 092	0,76

L'acide citrique est donc toujours nuisible à la respiration, dont il diminue l'intensité ; mais il élève avec le temps le quotient respiratoire au-dessus de l'unité.

12° *Action de l'acide citrique sur les graines de chanvre.* — Les concentrations choisies ont été 0,5 o/oo, 1 o/oo et 2,5 o/oo ; l'immersion des graines a duré vingt-quatre heures. La respiration a été caractérisée par les rapports suivants :

Acide citrique 0,5 o/oo	0,96
» » 1 o/oo	0,80
» » 2,5 o/oo	0,81
Eau	0,82

Seule la solution à 0,5 o/oo a élevé $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$; les doses supérieures ne l'ont pas modifié d'une façon sensible.

13° *Influence de l'acide citrique sur les graines de lin.* — Des lots de 500 milligrammes de graines de lin ont été plongées dans l'acide citrique à 0,5, à 1 et à 2,5 o/oo. Les graines ont été portées, après leur sortie du liquide, en tubes clos, dont l'analyse de l'air après des temps égaux a pu fournir les données suivantes :

	Quotients respiratoires	Volume de CO ² dégagé
Acide citrique à 0,5 o/oo	0,78	2cm ³ 23
» » 1 o/oo	0,81	1 92
» » 2,5 o/oo	0,87	1 50
Eau... ..	0,80	1 41

L'acide citrique employé en faibles doses ne modifie pas le quotient respiratoire, mais il y a élévation de ce quotient à partir de la dose 2,5 o/oo. L'intensité respiratoire augmente en présence de l'acide, mais ce sont les solutions les moins concentrées qui sont, à ce point de vue, maintenant les plus favorables.

Dans toutes les expériences précédentes faites avec les graines que nous venons de citer, il est à remarquer que le quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ était normalement inférieur à 1 et que seule l'addition d'acide le rendait supérieur à l'unité. Au contraire, pour les quelques graines sur lesquelles nous allons expérimenter maintenant, ce même quotient est déjà normalement égal ou supérieur à 1. Voyons donc ce qu'il deviendra en présence des acides, et cherchons en même temps à comprendre pourquoi, indépendamment de l'action de ces acides, il est déjà par lui-même aussi élevé.

VI. — Influence de l'acide malique sur les graines de groseillier.

— Les graines ont séjourné pendant seize heures dans des solutions à 0,5 o/oo, 1 o/oo et 5 o/oo.

Nous donnons, ci-dessous, les volumes de gaz carbonique dégagés en une heure par des poids égaux de graines, et les quotients respiratoires.

	CO ² dégagé	Quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$
Acide malique à 0,5 o/oo	0cm ³ 024	1
» » 1 o/oo	0 025	1
» » 2,5 o/oo	0 022	0,95
« » 5 o/oo	0 021	1
Eau.. ..	0 020	0,99

L'acide malique n'a donc aucune influence sur le quotient respiratoire de ces graines, qui est déjà normalement très élevé, égal à l'unité ; l'intensité des échanges gazeux est très légèrement augmentée par les solutions diluées.

Nous nous sommes demandée quelle pouvait être la cause de cette élévation naturelle du rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$, et, en examinant les graines, nous avons remarqué qu'elles sont entourées d'une pâte rouge adhérente qui provient certainement des restes de la pulpe du fruit. Nous avons gratté ces graines, puis délayé la partie rouge dans l'eau, qui a pris alors une forte réaction acide.

Ce sont donc les acides du fruit qui s'exercent normalement chez ces graines en élevant le quotient respiratoire.

VII. — **Action de l'acide citrique sur différentes graines de haricot.** — Des haricots noirs ont été placés pendant trente-six heures dans des récipients en verre contenant de l'acide citrique à 0,5, à 1 et à 2,5 o/oo et de l'eau pure. Leur respiration a été ensuite caractérisée par les coefficients que voici :

	CO ² gramme-heure	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide citrique à 0,5 o/oo.....	0cm ³ 070	1,36
» » 1 o/oo.....	0 060	1,41
» » 2,5 o/oo.....	0 080	1,52
Eau.....	0 060	1,18

Ainsi, sous l'influence des acides l'intensité respiratoire et le rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ s'élèvent; mais, d'autre part, déjà en présence d'eau pure, ce dernier quotient est supérieur à l'unité.

Recherchant la cause de cette particularité, il nous est venu à l'idée qu'elle pourrait être attribuée au tégument. Pour nous en assurer, nous avons fait alors tremper pendant quarante-huit heures des haricots noirs dans l'eau et, d'autre part, dans l'acide citrique à 1 o/oo, mais certaines graines ont été débarrassées de leur tégument. Or, les quotients respiratoires ont été :

Pour les graines sans tégument :

Avec l'acide.....	1,49
Avec l'eau.....	0,91

Pour les graines avec tégument :

Avec l'acide.....	1,46
Avec l'eau.....	1,18

Notre hypothèse semble donc bien fondée ; c'est le tégument qui donne à la graine un quotient respiratoire supérieur à l'unité. Nous voyons d'ailleurs, en outre, que l'acide citrique élève le quotient des graines nues comme celui des graines complètes.

En présence de ce premier résultat, il devenait intéressant de connaître la respiration des téguments séparés de la graine. Si, en effet, leur quotient respiratoire est très supérieur à l'unité, il n'y aura plus à s'occuper de la respiration de l'amande et c'est dans l'enveloppe que réside la cause de cette anomalie respiratoire. Si, au contraire, leur rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ est normal, celui de l'amande l'étant aussi, nos recherches devront porter sur les réactions qui peuvent se produire entre l'embryon et son enveloppe.

Des haricots sont alors plongés dans l'eau pendant quelques heures ; puis les téguments sont incisés et nous les séparons du reste de la graine, en ayant soin de les déchirer le moins possible. Nous les portons ensuite dans des éprouvettes dont l'air est analysé quelque temps après. Nous trouvons ainsi 14 o/o d'acide carbonique et 16,8 o/o d'oxygène absorbé, ce qui fait un quotient respiratoire égal à 0,83, c'est-à-dire un rapport très normal.

Nous avons donc à chercher, dès lors, si le phénomène ne serait pas un effet des relations qui s'établissent entre le tégument et l'amande, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, et nous nous trouvons en présence des hypothèses suivantes :

1° Cette influence du tégument sur l'embryon peut être d'ordre physique. Il est possible, en effet, que l'enveloppe de la graine ne soit qu'imparfaitement perméable à l'air et gêne la circulation des gaz entre l'amande et l'extérieur. L'embryon devrait donc trouver l'oxygène à l'état combiné dans certaines substances et l'élévation du rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ en serait un effet immédiat.

2° Cette même influence peut encore être d'ordre physique, mais pour une raison différente. Le tégument modifierait l'intensité de l'absorption de l'eau en amenant un état de turgescence particulier, qui retentirait sur la respiration. MM. Maige et Nicolas (1) ont montré qu'il y a un optimum de concentration du suc cellulaire qui favorise l'intensité respiratoire et le coefficient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$.

3° Cette influence peut être aussi chimique. Il peut y avoir dans les tissus du tégument des substances qui entrent en dissolution au moment de l'imbibition des graines, et qui, soit dans le tégument même, soit après absorption par l'embryon, produisent un quotient respiratoire supérieur à 1.

4° L'influence du tégument est peut-être plus spécialement physiologique. Nous entendons par là qu'il y aurait en lui des pigments respiratoires qui, comme l'hémoglobine du sang, se chargeraient de l'oxygène de l'air pour le céder ensuite aux tissus. L'analogie des deux respirations végétale et animale a été en effet récemment perçue par M. Palladine. Il est évident que le phénomène est ici bien différent, puisqu'il n'y a pas de circulation, mais il se pourrait qu'au moment de l'imbibition des graines l'embryon sécrétât des réductases qui s'empareraient de l'oxygène des pigments, oxygène qui serait utilisé à l'intérieur de la graine. Cela expliquerait la moindre absorption de l'oxygène extérieur et l'élévation de $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$.

(1) MAIGE et NICOLAS : *Influence des variations de la turgescence sur la respiration de la cellule*. (Revue Gén. de Bot. 1910).

La diversité de toutes ces hypothèses et le désir de convertir l'une d'elles en certitude nous ont conduite à entreprendre une nouvelle série d'expériences.

Pour reconnaître, d'abord, si le tégument n'agirait pas en gênant l'absorption de l'eau, et en augmentant par contre-coup la concentration du suc cellulaire, nous avons laissé les graines dans l'eau pendant un temps plus long que d'ordinaire. La durée de l'immersion a été cette fois de soixante-dix heures et le quotient $\frac{CO^2}{O}$ est alors :

Pour les graines sans tégument ..	0,92
Pour les graines entières	0,90

Après trois jours d'immersion, les haricots n'ont donc plus un quotient respiratoire supérieur à l'unité. Et ceci peut tenir, comme nous l'avons supposé, à ce que la pénétration de l'eau est alors suffisante.

Cependant une autre cause pourrait être l'épuisement d'une substance capable d'élever le quotient. Aussi, pour vérifier notre première hypothèse, nous avons de nouveau soumis les graines à une immersion prolongée, mais en cherchant à empêcher l'arrivée de l'eau dans certaines d'entre elles. Nous avons obtenu ce résultat en recouvrant d'un vernis noir une grande partie du tégument.

Lorsque ce vernis est bien sec, les graines sont plongées dans l'eau avec d'autres graines qui serviront de témoins. L'immersion dure trois jours, de façon à ce que le quotient respiratoire soit redescendu à la normale. Les rapports $\frac{CO^2}{O}$ ont été :

Avec les graines vernies.....	1,06
Avec les graines non vernies.....	0,85

On voit donc que les graines vernies, n'ayant probablement pas pu absorber une quantité d'eau suffisante, malgré une longue immersion, ont toujours un quotient respiratoire supérieur à l'unité, alors que celui des graines non vernies, après l'avoir été également comme d'ordinaire, s'est, comme d'ordinaire aussi, abaissé au-dessous de 1.

Pour vérifier, en définitive, si c'est bien la concentration du suc cellulaire qui élève ce quotient respiratoire des haricots, nous avons voulu comparer encore la respiration de graines ayant pu absorber une quantité d'eau suffisante avec celle de haricots n'ayant eu à leur disposition qu'un volume de liquide inférieur à leur besoin.

Le pouvoir absorbant des haricots étant de 110 environ, nous avons mis un lot de ces graines au contact d'un volume d'eau égal à la moitié de celui

qu'elles auraient pu absorber. D'autre part, des graines semblables ont été plongées dans un bain d'eau abondante. Après l'expérience précédente, nous espérons voir au bout de trois jours le quotient respiratoire diminuer chez les graines immergées et se maintenir supérieur à l'unité chez les graines ayant déjà absorbé toute l'eau qui les entourait ; mais nous n'avons pas, du reste, attendu ce laps de temps parce que les graines du second lot, après s'être légèrement gonflées, commençaient à se dessécher dès le second jour. Nous les avons alors portées, ainsi que les haricots témoins, dans des éprouvettes closes dont l'air a été analysé après quelques heures. Et nous avons trouvé comme quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$:

Haricots ayant absorbé une faible quantité d'eau.....	0,83
Haricots ayant été plongés dans de l'eau abondante.....	1,20

Les graines sont alors pesées, desséchées à l'étuve et pesées de nouveau :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Graines avec faible quantité d'eau.	1 gr. 070	0 gr. 628	1,70
» » eau abondante.....	1 452	0 628	2,31

Ainsi, à l'inverse de ce que nous attendions, le quotient respiratoire des graines à demi-imbibées est inférieur à celui des graines qui ont pu absorber toute l'eau nécessaire. Par conséquent, si le manque de perméabilité du tégument est une cause d'élévation de $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ (ce qui semble bien indiqué par l'expérience des haricots vernis), ce n'est pas, en tous cas, parce que la circulation de l'eau est entravée.

Envisageons donc l'hypothèse d'une influence chimique du tégument sur l'amande. Parmi les corps susceptibles d'augmenter le quotient respiratoire, il est naturel de penser d'abord aux acides ; mais, ayant donc recherché leur présence dans le tégument en épuisant celui-ci par l'eau chaude, nous n'en avons pas trouvé en proportions appréciables au moyen des réactifs habituels.

Y a-t-il vraiment dans l'enveloppe de la graine une substance, autre que les acides, capable d'élever le quotient respiratoire ? Le moyen de le reconnaître, peut être de voir comment agit sur la respiration une décoction de téguments absorbée par les embryons. Or le quotient respiratoire pour les graines ainsi imbibées, comparativement au même quotient pour des graines imbibées seulement d'eau pure, est :

Avec la décoction de téguments.....	0,72
Avec l'eau pure.....	0,57

D'autre part, les intensités respiratoires sont :

	CO ² -gramme-heure
Avec la décoction de téguments.....	0cm ³ 120
Avec l'eau pure.....	0 093

La décoction de téguments noirs a donc accru l'intensité respiratoire, ainsi que le rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ des graines correspondantes. Cependant le rapport n'est pas devenu supérieur à 1.

Remarquons que, parmi les substances dissoutes dans la décoction, le glucose se trouve en assez grande proportion. Nous avons donc voulu savoir quelle était son action sur les échanges gazeux de la graine ; et, à cet effet, des haricots entiers et des haricots privés de leur tégument ont été placés, d'une part dans l'eau, de l'autre dans une solution de glucose à 5 o/o pendant cinquante-huit heures, c'est-à-dire pendant un temps assez long pour que le quotient des graines normales soit descendu au-dessous de l'unité. Nous avons obtenu ensuite, comme quotient respiratoire :

Avec les graines entières...	{ glucose 5 o/o.....	1,07
	{ eau.....	0,88
Avec les graines nues.....	{ glucose 5 o/o.....	0,98
	{ eau... ..	0,92

On voit que de nouveau le glucose à 5 o/o élève le quotient respiratoire des graines normales et des graines privées de leur enveloppe, mais sans toujours rendre ce quotient supérieur à 1.

Après tous ces essais, il ne nous reste plus qu'à supposer un rôle plus délicat et plus complexe du tégument dans la physiologie respiratoire. N'y aurait-il pas eu, préalablement à la germination, fixation de l'oxygène de l'air par des pigments sous l'influence d'oxydases ? Et cette réserve d'oxygène combiné ne serait-elle pas utilisée lors du gonflement des graines ?

Nous nous sommes d'abord demandée si, en rapport avec cette dernière hypothèse, la particularité des échanges gazeux du haricot était exclusivement la propriété des graines à tégument noir ou si les haricots blancs la possédaient aussi. Nous avons en même temps recherché l'influence de l'acide citrique sur ces graines. Après dix-neuf heures d'immersion, les coefficients respiratoires ont été les suivants :

Avec les graines entières :

	CO ² gramme-heure	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$
Acide citrique 2,5 o/oo	0cm ³ 103	1,49
» » 5 o/oo	0 082	1,53
Eau.....	0 070	1,30

Avec les graines sans tégument :

	CO ² gramme-heure	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$
Acide citrique 5 o/oo	0cm ³ 117	0,99
Eau.....	0 107	0,71

1° L'acide citrique élève le quotient respiratoire et l'intensité des échanges gazeux des haricots blancs pourvus ou non de leur tégument.

2° Les graines nues respirent plus fortement que les graines entières.

3° Le tégument blanc du haricot confère aussi à la graine la particularité d'avoir un quotient respiratoire supérieur à l'unité.

Il est donc injustifié de faire intervenir la coloration pigmentaire.

Voyons cependant ce qu'est la respiration en dehors de l'activité protoplasmique :

Pour cela, les téguments sont broyés dans de l'eau froide bouillie. Cette eau a été ensuite portée dans des tubes à atmosphère confinée reposant sur le mercure. Les uns ont reçu quelques gouttes de chloroforme, qui tue les bactéries pouvant se trouver dans le milieu et annihile les fonctions du protoplasma, tout en permettant l'activité des diastases. Les autres n'ont pas reçu de chloroforme.

Trois jours plus tard, une prise d'air est faite dans les différents tubes et les quotients respiratoires sont :

Jus de téguments étendu + chloroforme...	1.28
Jus de téguments étendu sans chloroforme.	0,97

Lorsque, donc, l'action protoplasmique est suspendue, mais les pigments restant actifs, nous obtenons le quotient supérieur à 1.

En définitive, sans pouvoir donner de l'élévation naturelle du quotient respiratoire des haricots une explication complète, il nous semble, du moins, que ce phénomène est, en réalité, la conséquence de plusieurs causes.

1° Contrairement à ce que nous avons eu tendance à supposer un instant, le tégument n'agirait pas en gênant la pénétration de l'eau ; mais peut-être interviendrait-il déjà en ralentissant la pénétration de l'air.

2° L'accumulation du glucose dans ce tégument aurait encore pour conséquence une élévation de ce même quotient.

3° Enfin, il semblerait encore que les pigments tégumentaires, ou dans le cas des haricots blancs, les substances analogues mais non colorées aient un rôle actif dans la respiration des haricots. Ils cèdent peut-être à la graine des réserves d'oxygène sous l'influence d'actions diastasiques. Nous avons constaté, en effet, que les réactions qui se produisent dans la cellule morte, et qui sont réglées uniquement par les affinités chimiques et l'action des diastases,

aboutissent à des échanges gazeux avec l'atmosphère avec un rapport $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ supérieur à 1.

Et ce serait de la réunion de toutes ces causes que découlerait le résultat final.

Influence de divers acides sur les graines d'oseille. — Les acides dont nous nous sommes servie avec ces graines sont l'acide oxalique, qui se trouve normalement dans la plante, et l'acide citrique.

Acide oxalique. — Les solutions employées ont été : 0,5 o/oo, 1 o/oo, 2,5 o/oo et 5 o/oo. La respiration des graines a fourni les rapports $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ suivants :

Acide oxalique à 0,5 o/oo.....	0,86
» » 1 o/oo.....	0,86
» » 2,5 o/oo.....	0,96
» » 5 o/oo.....	1,08
Eau	0,86

L'acide n'élève donc le quotient respiratoire qu'à partir de la dose 2,5 o/oo.

Acide citrique. — Dans une première expérience, nous avons immergé les graines dans des solutions à 0,5, 1, 2,5 et 5 o/oo pendant vingt-quatre heures. Nous avons laissé ensuite ces graines respirer dans une atmosphère confinée et nous avons déterminé le coefficient d'acide carbonique dégagé en une heure par l'unité de poids, ainsi que le quotient respiratoire.

	CO ² gramme-heure	Quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$
Acide citrique, à 0,5 o/oo	0cm ³ 163	0,85
» » 1 o/oo	0, 173	0,96
» » 2,5 o/oo	0, 125	1,06
» » 5 o/oo	0, 127	1
Eau	0, 146	0,98

L'influence de l'acide citrique sur l'intensité respiratoire est essentiellement variable avec la concentration employée. La solution à 0,5 o/oo est favorable, la solution à 1 o/oo l'est encore davantage, mais les solutions plus fortes diminuent au contraire l'énergie des échanges gazeux. L'influence qui s'exerce sur le quotient respiratoire varierait aussi avec la concentration mais dans le sens opposé. Il y aurait une légère élévation du quotient avec les doses fortes.

Pour préciser cette action de l'acide sur le quotient respiratoire nous

avons, dans une seconde expérience, employé l'acide citrique dans des solutions plus concentrées 5 o/oo, 1 o/o, 2,5 o/o, et 5 o/o. Les quotients obtenus ont été cette fois plus élevés, comme on peut en juger par les chiffres suivants :

	Quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$
Acide citrique à 5 o/oo	1,09
» » 1 o/o	1,30
» » 2,5 o/o	1,22
» » 5 o/o	1,16
Eau	1,02

Nous pouvons donc maintenant conclure que l'acide citrique, employé en solutions inférieures à 2,5 pour 1000, abaisse plutôt $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$, mais qu'il est au contraire très favorable à l'élévation du quotient si l'on emploie des proportions plus fortes, la dose optima étant 1 o/o. L'influence exercée par le même acide sur l'intensité respiratoire semble exactement inverse, car l'énergie des échanges gazeux s'accroît seulement avec les solutions très diluées ; les concentrations supérieures à 2,5 pour 1000 la diminuent notablement.

On a pu remarquer que le quotient respiratoire des graines d'oseille est, normalement, voisin de l'unité. Or, comme ces graines proviennent de plantes à suc cellulaire très acide, nous avons pensé que cette particularité était peut-être la conséquence d'une certaine acidité naturelle des semences. Nous avons d'ailleurs contrôlé l'exactitude de ce fait par un dosage acidimétrique ; mais comme, d'autre part, certaines graines ont présenté parfois aussi une légère acidité sans qu'il en résultât une élévation du quotient respiratoire, il se pourrait qu'il y eût, dans le cas de la respiration des graines d'oseille, un rôle du tégument analogue à celui que nous avons constaté chez les haricots. Nous n'avons pu cependant mettre ce rôle en évidence, les graines étant trop petites pour que la séparation des téguments soit possible.

Résumé général.— Les principales conclusions des recherches exposées dans ce chapitre sont les suivantes :

I. — Tous les acides que nous avons employés, organiques ou minéraux, élèvent, s'ils sont à des doses convenables, le quotient respiratoire ; mais la concentration optima varie avec la nature de l'acide, d'une part, et avec l'espèce végétale de l'autre. Elle est généralement comprise entre 0,5 et 5 o/oo. Par exception, pour les graines d'oseille et de ricin, elle s'élève à 10 o/oo.

Les doses de plus en plus éloignées de la solution optima, qu'elles soient inférieures ou supérieures, provoquent des élévations du quotient respiratoire de moins en moins grandes. Parfois même il y a des concentrations minima ou maxima au delà desquelles il y aura abaissement du rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$

II. — L'intensité de la respiration est tantôt augmentée, tantôt diminuée par l'action des acides. Le phénomène dépend, à la fois, de la nature des acides, de leur concentration et de l'espèce végétale auxquelles les graines appartiennent. Il n'y a donc plus ici la régularité que l'on observait dans les variations du quotient respiratoire.

Lorsque l'acide augmente l'énergie de la respiration, les doses optima pour l'intensité respiratoire ne coïncident pas avec celles qui favorisent le plus le quotient.

Les concentrations supérieures à l'optima affaiblissent généralement très vite l'intensité des échanges gazeux. C'est souvent à partir de la dose 2,5 o/oo que le phénomène se renverse, tandis que les doses favorables oscillent entre 0,5 et 2,5 o/oo.

III. — L'étude de l'influence de l'acide citrique sur le blé, qui a été poursuivie pendant toute la durée de la germination, prouve que les effets de la solution optima sur le quotient et l'intensité respiratoire se maintiennent pendant tout le développement.

IV. — Certaines graines présentent normalement un quotient égal ou supérieur à l'unité. Cette élévation s'explique, pour les graines de groseillier, par l'action des acides du fruit, dont la pulpe reste en partie adhérente aux semences, et serait due, pour les haricots, à un rôle particulier du tégument. Ce serait peut-être à cette dernière cause qu'il faudrait également attribuer l'élévation du quotient des graines d'oseille, avec cette différence qu'ici le phénomène est en partie la conséquence de l'acidité naturelle de ces graines.

CHAPITRE VII

INFLUENCE DES ACIDES SUR LA RESPIRATION INTRAMOLÉCULAIRE DES GRAINES

Après avoir recherché l'influence des acides sur les échanges gazeux des graines avec l'atmosphère, nous avons tenté de reconnaître comment s'exerce cette influence sur les réactions qui se produisent dans le végétal en l'absence d'oxygène extérieur.

L'étude des modifications de la respiration dans une atmosphère inerte ne nous renseignera pas seulement sur le rôle qu'est susceptible de jouer l'acide, dans ces circonstances assez particulières où le végétal manque d'oxygène extérieur, elle nous indiquera aussi ce qui se passe normalement dans la plante, en même temps que les oxydations caractéristiques de la respiration dans l'air.

D'après, en effet, des recherches encore récentes, le passage de la respiration normale à la respiration intramoléculaire ne se fait pas brusquement, dès que le végétal est privé d'oxygène, et il y aurait en temps ordinaire simultanéité de ces deux fonctions ; mais c'est la suppression de la première qui a permis de mettre la seconde en évidence.

On croyait autrefois que la respiration intramoléculaire n'était qu'une conséquence de la fermentation alcoolique qui succédait à la vie aérobie ; les théories actuelles établissent que, en réalité, la production d'alcool s'effectue toujours en présence de l'air ; mais l'alcool produit s'oxyde très vite et disparaît si rapidement qu'on ne peut le déceler. En l'absence d'oxygène, au contraire, il s'accumule et devient visible. Ce ne serait donc pas à l'état d'asphyxie que serait dû l'alcool, mais bien à l'activité d'une diastase fonctionnant en présence ou en l'absence d'oxygène.

De plus, la respiration intramoléculaire ne s'accompagnerait pas toujours d'ailleurs de production d'alcool. D'après M. Palladine et M. Kostytschew, la production d'alcool, en respiration aérobie, est sous la dépendance des hydrates de carbone. De notables quantités d'alcool peuvent naître si ces hydrates

sont abondants ; au contraire, s'ils manquent, il ne s'en forme pas. Dans le premier cas, la respiration intramoléculaire est une fermentation alcoolique et dépend de l'activité de la zymase ; dans le deuxième, elle consiste en une émission de gaz carbonique par dédoublement probable des matières albuminoïdes sous l'influence d'un enzyme spécial, la carbonase. Pour M. Palladine, ce dédoublement des matières albuminoïdes, qui produit un dégagement d'acide carbonique sans aucune participation de l'oxygène, constitue le premier stade de la respiration à l'air libre et fournit différents matériaux qui pourront alors être oxydés.

Il semble donc difficile de séparer complètement l'étude de la respiration intramoléculaire de celle de la respiration normale. Aussi, dans les expériences qui vont suivre, et au cours desquelles nous avons noté les différences que présente la respiration dans l'hydrogène de graines qui ont été immergées, d'une part dans l'eau, d'autre part dans les acides, avons-nous toujours recherché en même temps les modifications apportées dans les mêmes conditions à la respiration dans l'air.

Nous avons pu, ainsi, déterminer le coefficient CO^2 -gramme-heure, dans l'air et dans l'hydrogène, que présentent des graines traitées ou non par un acide et établir ensuite le rapport $\frac{I}{N}$ des quantités d'acide carbonique rejeté dans la respiration intramoléculaire et dans la respiration normale.

Une élévation de ce rapport indiquerait que l'acide peut se décomposer ou provoquer la décomposition d'autres substances sans le concours de l'oxygène de l'air ; un abaissement du même rapport prouverait un phénomène inverse.

Maïs. — Nous citerons les six expériences suivantes :

1° Les graines dont on étudie la respiration ont été immergées pendant vingt-quatre heures, les unes dans l'eau, d'autres dans une solution d'acide malique à 0,5 o/oo. La respiration normale nous donne :

	CO^2 gramme sec-heure
Acide.....	$\text{Na} = 0\text{cm}^3\ 070$
Eau.....	$\text{Ne} = 0\text{cm}^3\ 064$

Pour la respiration intramoléculaire, nous obtenons :

CO^2 gramme sec-heure	Quotient $\frac{I}{N}$
Acide..... $\text{Ia} = 0\text{cm}^3\ 032$	$\frac{\text{Ia}}{\text{Na}} = \frac{0\text{cm}^3\ 032}{0\text{cm}^3\ 070} = 0,45$
Eau..... $\text{Ie} = 0\text{cm}^3\ 036$	$\frac{\text{Ie}}{\text{Ne}} = \frac{0\text{cm}^3\ 036}{0\text{cm}^3\ 064} = 0,56$

L'acide malique à 0,5 o/oo a donc augmenté l'intensité de la respiration normale et diminué légèrement celle de la respiration dans l'hydrogène. Le quotient $\frac{I}{N}$ a, en conséquence, été diminué.

2° L'essai est le même que le précédent et ne diffère que par le titre de la solution employée. L'acide malique est, cette fois, à 1 o/oo au lieu de 0,5 o/oo. Nous obtenons :

Pour la respiration normale :

	CO ² rejeté pour 100	Oxygène absorbé pour 100	Quotient $\frac{CO^2}{O}$
Acide.....	3,98	3,97	1
Eau.....	5,24	5,45	0,96
	Volume de l'air confiné	Poids sec des graines	Temps
Acide.....	15cm ³	1 gr. 145	6 h. 3/4
Eau.....	12cm ³	1 348	7 h.
			CO ² gramme sec-heure
Acide.....		Na =	0cm ³ 077
Eau ...		Ne =	0cm ³ 066

Pour la respiration intramoléculaire :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène
Acide.....	5,45	60cm ³
Eau.....	5,91	40cm ³
	Poids sec des graines	Temps
Acide.....	10 gr. 065	6 h.
Eau,	8 278	5 h. 6
	CO ² gramme sec-heure	Quotient $\frac{I}{N}$
Acide Ia =	0cm ³ 054	$\frac{Ia}{Na} = 0,70$
Eau Ie =	0cm ³ 050	$\frac{Ie}{Ne} = 0.75$

Employé à la dose 1 o/oo, l'acide malique augmente donc l'intensité de la respiration dans l'air et dans l'hydrogène. Il élève le rapport $\frac{CO^2}{O}$ et il diminue le quotient $\frac{I}{N}$.

3° L'augmentation de la respiration intramoléculaire par l'influence de l'acide, dans l'expérience précédente, étant assez faible, nous avons voulu contrôler le phénomène. Pour cela, d'autres graines de maïs ont été de nouveau trempées dans l'acide malique à 1 o/oo et dans l'eau, avant la mise en tubes. Les résultats sont :

Pour la respiration normale :

	CO ² gramme sec-heure
Acide Na	= 0cm ³ 065
Eau Ne	= 0cm ³ 058

Pour la respiration intramoléculaire :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène
Acide.....	6,42	52cm ³
Eau.....	7,14	54cm ³
	Poids sec des graines	Temps
Acide.....	13 gr. 357	5 h. 58
Eau.....	15, 695	5 h. 33
	CO ² gramme sec-heure	Quotient $\frac{I}{N}$
Acide.....	0cm ³ 044	$\frac{I_a}{N_a} = 0,67$
Eau.....	0cm ³ 048	$\frac{I_e}{N_e} = 0,79$

Nous voyons qu'en réalité l'intensité de la respiration intramoléculaire n'est pas modifiée par l'acide malique à 1 o/oo ; il y a bien augmentation de l'énergie respiratoire normale et diminution du rapport $\frac{I}{N}$.

4° La concentration de l'acide malique est cette fois 5 pour 1000.

Résultats pour la respiration normale :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'air confiné
Acide.....	6,75	11cm ³
Eau.....	4,07	13cm ³ 5

	Poids sec des graines	Temps	CO ² gramme sec-heure
Acide.....	2 gr. 210	4 h. 66	0cm ³ 072
Eau.....	2, 092	5 h. 08	0cm ³ 051

Résultats pour la respiration intramoléculaire :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène
Acide.....	5,16	45cm ³
Eau.....	6,11	49cm ³
	Poids sec des graines	Temps
Acide.....	17 gr. 850	4 h. 66
Eau.....	15 gr. 950	6 h. 75

	CO ² gramme sec-heure	Quotient $\frac{I}{N}$
Acide.....	0cm ³ 027	$\frac{Ia}{Na} = \frac{27}{72} = 0,37$
Eau.....	0cm ³ 026	$\frac{Ie}{Ne} = \frac{26}{51} = 0,51$

Ces résultats sont conformes à ceux des expériences précédentes :

L'énergie de la respiration intramoléculaire n'est pas modifiée par l'acide malique ; la respiration dans l'air est, au contraire, activée. Et il est intéressant d'observer que l'excès de CO² émis augmente avec la concentration de l'acide que l'on emploie. Le quotient $\frac{I}{N}$ est toujours diminué par l'action de l'acide, puisque I est invariable et que N est accru.

5° Les graines expérimentées sont toujours celles de maïs, mais on emploie maintenant l'acide tartrique. Nous recherchons d'abord l'effet d'une solution à 1 o/oo.

La respiration normale a donné les chiffres suivants :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'air confiné	Temps
Acide.....	2,58	14cm ³	4 h. 6
Eau.....	3,38	13cm ³	4 h. 4

	Poids sec des graines	CO ² gramme-heure
Acide.....	1 gr. 017	Na = 0cm ³ 077
Eau..	1 442	Ne = 0cm ³ 068

Pour la respiration intramoléculaire, nous avons obtenu :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène	Temps
Acide.....	3,83	56cm ³	5 h.
Eau.....	3,58	42cm ³	5 h.

	Poids sec des graines	CO ² gramme-heure
Acide.....	13 gr. 015	Ia = 0cm ³ 032
Eau.....	7 910	Ie = 0cm ³ 040

	Quotient $\frac{I}{N}$
Acide	$\frac{Ia}{Na} = \frac{32}{77} = 0,41$
Eau.....	$\frac{Ie}{Ne} = \frac{40}{68} = 0,58$

L'acide tartrique à 1 o/oo augmente donc l'intensité de la respiration normale, mais il diminue la respiration intramoléculaire et le quotient $\frac{I}{N}$.

6° On augmente la concentration d'acide tartrique : 5 o/oo.

Résultats pour la respiration normale :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'air	Temps
Acide.	1,74	15cm ³	5 h. 91
Eau.	1,77	15cm ³ 5	5 h. 66
	Pois sec des graines	CO ² O	CO ² gramme- heure
Acide.	0 gr. 997	1,11	0cm ³ 044
Eau.	1 gr. 130	0,80	0cm ³ 042

Résultats pour la respiration intramoléculaire :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène	Temps
Acide. ..	2,91	60cm ³	4 h. 33
Eau.	2,89	64cm ³	4 h. 83
	Poids sec des graines	CO ² gramme- heure	$\frac{I}{N}$
Acide.	9 gr. 755	0cm ³ 041	$\frac{I_a}{N_a} = \frac{41}{44} = 0,93$
Eau.	10 gr. 163	0cm ³ 037	$\frac{I_e}{N_e} = \frac{37}{42} = 0,88$

Il est assez curieux que, la respiration s'étant produite à la température habituelle (environ 15°), le rejet d'acide carbonique dans l'hydrogène soit presque égal à celui qui est émis dans l'air lorsqu'il y a absorption d'oxygène. Et ceci ne semble pas accidentel, puisque le phénomène est le même pour les deux séries de graines.

L'action particulière de l'acide est très faible : l'intensité des deux respirations est légèrement augmentée, ainsi que le coefficient $\frac{I}{N}$.

Blé. — Des grains de blé ayant séjourné pendant vingt-trois heures dans l'eau et dans l'acide citrique à 5 o/oo sont introduits dans des tubes fermés qui seront les uns remplis d'air, les autres d'hydrogène. Nous obtenons pour la respiration normale :

	CO ² gramme- heure	CO ² O
Acide.	0cm ³ 063	0,93
Eau.	0cm ³ 041	0,78

Et, pour la respiration dans l'hydrogène :

	CO ² gramme- heure	$\frac{I}{N}$
Acide.	0cm ³ 033	0,52
Eau.	0cm ³ 028	0,68

On voit que l'acide citrique à 5 o/oo a augmenté l'intensité de la respiration normale et intramoléculaire, mais que le quotient $\frac{I}{N}$ est sensiblement diminué.

Courge. — Nous citerons deux expériences :

1° Des graines de courge ont été placées pendant vingt-quatre heures, d'une part dans une solution d'acide tartrique à 1 o/oo, de l'autre dans l'eau pure.

La respiration dans l'air donne les nombres suivants :

Liquide d'immersion	CO ² rejeté pour 100	O absorbé pour 100	$\frac{CO^2}{O}$	Volume de l'air
Eau	1,50	2,26	0,66	15cm ³ 5
Acide tartrique 1 o/oo .	1,27	1,21	1,04	14cm ³

Liquide d'immersion	Poids des graines	Temps	CO ² gramme- heure
Eau	1 gr. 190	3 h. 9	0cm ³ 050
Acide tartrique	0 985	4 h. 16	0cm ³ 043

Pour la respiration intramoléculaire nous obtenons :

Liquide d'immersion	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène	Temps
Eau	0,86	44cm ³	4 h. 08
Acide	0,93	62cm ³	5 h. 50

Liquide d'immersion	Poids des graines	CO ² gramme- heure	$\frac{I}{N}$
Eau	5 gr. 725	0cm ³ 017	0,34
Acide	8 900	0cm ³ 014	0,34

La température est de 15° environ.

L'acide tartrique à 1 o/oo, qui élève le quotient respiratoire des graines de courge, a diminué l'intensité de la respiration normale et de la respiration intramoléculaire. Il n'a pas modifié le rapport $\frac{I}{N}$.

2° Les graines de courge ont séjourné cette fois dans l'acide citrique à 5 o/oo. Nous obtenons :

Pour la respiration dans l'air :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'air	Poids sec des graines
Eau	2,16	19 cm ³	1 gr. 625
Acide	2,49	13 cm ³	1 538

	Temps	CO ² -gramme-heure
Eau	6 h. 8	0cm ³ 045
Acide	6 h. 33	0cm ³ 033

Pour la respiration dans l'hydrogène :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène	Poids sec des graines
Eau	1,42	62cm ³	9 gr. 480
Acide.....	1,42	57cm ³	9 998
			$\frac{I}{N}$
	Temps	CO ² gramme-heure	
Eau.....	6 h. 25	0cm ³ 014	0,31
Acide	6 h. 25	0cm ³ 014	0,42

L'acide citrique à 5 o/oo diminue la respiration normale, mais il ne modifie pas l'intensité de la respiration intramoléculaire ; il augmente le quotient $\frac{I}{N}$.

Son action est donc peu différente de celle de l'acide tartrique.

Lin. — Les graines ont été préalablement trempées dans l'acide malique à 2 o/oo et dans l'eau. La durée de l'immersion a été de seize heures.

Les chiffres qui caractérisent la respiration normale sont :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'air	Temps	Quotient $\frac{CO^2}{O}$
Acide.....	5,38	8cm ³ 5	5 h. 58	0,74
Eau	5,64	9cm ³	5 h. 7	0,68
				$\frac{I}{N}$
	Poids sec des graines	CO ² gramme-heure		
Acide	2 gr. 000	Na = 0cm ³ 040		
Eau.....	3 gr. 845	Ne = 0cm ³ 048		

Voici les résultats relatifs à la respiration intramoléculaire :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène	Temps	
Acide.....	3,94	45cm ³	6 h. 8	
Eau.....	3,87	41cm ³	5 h. 8	
				$\frac{I}{N}$
	Poids sec des graines	CO ² gramme- heure		
Acide.....	12 gr. 590	0cm ³ 026	$\frac{Ia}{Na} = \frac{26}{40} = 0,65$	
Eau.....	13 gr. 030	0cm ³ 020	$\frac{Ie}{Ne} = \frac{20}{48} = 0,41$	

L'acide a diminué l'énergie de la respiration normale, il augmente celle de l'émission de CO² dans l'hydrogène. Il augmente, par conséquent $\frac{I}{N}$.

Haricot. — Mentionnons les deux expériences suivantes :

1° Les graines sont plongées pendant vingt-quatre heures dans l'acide citrique à 2,5 o/oo et dans l'eau.

Pour la respiration normale, les résultats ont été les suivants :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'air	Temps
Acide	4,83	12cm ³	4 h. 6
Eau.....	4,65	13mc ³ 5	5 h.

	Poids sec des graines	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$	CO ² -gramme- heure
Acide	1 gr. 300	1,12	0cm ³ 096
Eau.....	1 gr. 335	1,12	0cm ³ 089

Et, pour la respiration intramoléculaire :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène	Temps
Acide.....	5,28	63cm ³ 5	6 h. 16
Eau.....	4,50	43cm ³ 5	5 h. 75

	Poids sec des graines	CO ² gramme- heure	Quotient $\frac{\text{I}}{\text{N}}$
Acide.....	8 gr. 000	0cm ³ 068	$\frac{\text{Ia}}{\text{Na}} = \frac{68}{96} = 0,70$
Eau.....	6 gr. 905	0cm ³ 048	$\frac{\text{Ie}}{\text{Ne}} = \frac{48}{89} = 0,54$

Rapport des intensités de la respiration normale :

$$\frac{\text{Acide}}{\text{Eau}} \frac{96}{89} = 1,07$$

Rapport des intensités de la respiration dans l'hydrogène :

$$\frac{\text{Acide}}{\text{Eau}} \frac{68}{48} = 1,41$$

L'acide citrique à 2,5 o/oo augmente l'énergie des deux respirations, surtout celle de la respiration dans l'hydrogène. Il augmente le rapport $\frac{\text{I}}{\text{N}}$.

2° Les haricots ont été gonflés, d'une part dans l'eau, de l'autre dans l'acide tartrique à 5 o/oo.

Nous obtenons pour la respiration normale :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'air	Temps
Acide.....	2,07	15cm ³	5 h.
Eau.....	2,84	13cm ³	5 h. 66

	Poids sec des graines	Quotient respiratoire	CO ² gramme-heure
Acide.....	1 gr. 208	1	Na = 0cm ³ 051
Eau.....	1 190	0,76	Ne = 0cm ³ 054

Et pour la respiration intramoléculaire :

	CO ² rejeté pour 100	Volume de l'hydrogène	Temps
Acide.....	2,13	60cm ³	5 h. 33
Eau.....	1,89	52cm ³	5 h. 75

	Poids sec des graines	CO ² gramme-heure	Quotient $\frac{I}{N}$
Acide.....	11 gr. 350	0cm ³ 021	$\frac{I_a}{N_a} = \frac{21}{51} = 0,41$
Eau.....	11 gr. 448	0cm ³ 014	$\frac{I_e}{N_e} = \frac{14}{54} = 0,25$

L'acide tartrique à 5 o/oo n'augmente que l'intensité de la respiration intramoléculaire; il élève très fortement le rapport $\frac{I}{N}$.

Résumé général. — L'influence des acides organiques sur la respiration intramoléculaire des graines s'est exercée d'une manière bien variable dans nos diverses expériences. Elle dépend de la spécificité des graines d'une part, et de la nature de l'acide et de sa concentration de l'autre.

L'acide *malique* n'a pas sensiblement modifié l'intensité de la respiration intramoléculaire du maïs; mais, comme il a augmenté l'intensité de la respiration normale, il en résulte une notable diminution du rapport $\frac{I}{N}$.

Le même acide a agi d'une manière toute différente sur les graines de lin, il a, en effet, augmenté l'émission de CO² dans l'hydrogène, et diminué cette émission dans l'air. Le rapport $\frac{I}{N}$ est, par suite, augmenté.

A la dose de 1 o/oo, l'acide *tartrique* a diminué la respiration intramoléculaire des graines de maïs et de courge; à 5 o/oo, par contre, il a été sans effet sur les mêmes graines.

L'acide *citrique* augmente l'intensité des deux respirations chez le grain de blé; mais, son influence s'exerçant plus spécialement sur la respiration normale, le rapport $\frac{I}{N}$ est sensiblement diminué.

Les réactions que nous avons observées chez les haricots se distinguent de celles qui se sont produites chez les autres graines en ce que l'activité de la respiration intramoléculaire, qui n'est généralement que peu modifiée, est ici très fortement accrue par chacun des deux acides utilisés. Aussi, bien que l'acide tartrique ait été sans influence sur la respiration normale de ces graines et que l'acide citrique ait augmenté sensiblement cette émission d'acide carbonique dans l'air, le quotient $\frac{I}{N}$ a subi une très forte élévation.

Il résulterait de tout ceci que la décomposition de certains acides nécessiterait une oxydation corrélative de l'absorption de l'oxygène de l'air ; *ce serait le cas de ceux qui provoquent un abaissement de $\frac{I}{N}$.*

D'autres acides se décomposeraient sans que l'intervention de l'oxygène extérieur soit indispensable ; *ce serait le cas de ceux qui élèvent au contraire $\frac{I}{N}$.*

Enfin le phénomène varierait suivant la spécificité des graines parce que l'acide pourrait utiliser, dans certaines d'entre elles, de l'oxygène à l'état combiné, tandis, que, dans d'autres, il ne trouverait pas cet oxygène.

Le cas particulier des haricots, chez lesquels la transformation de l'acide semble plus indépendante du concours de l'oxygène extérieur que chez les autres graines, justifierait l'hypothèse que nous avons émise antérieurement, relative à un rôle possible de réserve oxygénée qu'auraient les pigments tégumentaires ou d'autres matières analogues.

CHAPITRE VIII

INFLUENCE DE LA LUMIÈRE SUR L'ASSIMILATION DES ACIDES

Nous avons déjà pu nous convaincre que la lumière n'est pas nécessaire pour l'absorption des acides, puisque la disparition de l'acide citrique d'une solution mise au contact de grains de blé a été la même lorsqu'il y avait, ou non, éclaircissement.

Nous savons encore que la décomposition de ces acides se produit aussi en l'absence de lumière, et cela par les modifications du 'quotient respiratoire qui surviennent, à l'obscurité, chez les graines qui se sont gonflées dans des solutions acides.

Cependant la plupart des auteurs qui se sont occupés de l'acidité végétale s'accordent à attribuer à la lumière un rôle important à ce point de vue. M. Purjewicz, par exemple, dit que l'obscurité est favorable à la formation des acides, tandis que l'éclaircissement serait utile pour leur destruction (1). M. Astruc, de son côté, constate aussi, chez les plantes grasses, une perte d'acide pendant la journée, et une augmentation de cette acidité la nuit.

Nous avons donc voulu reconnaître si l'influence de l'acide sur la germination est dépendante de l'éclaircissement.

Pour cela, nous avons fait germer dans du sable de Fontainebleau des graines de lin, de soja, de blé et de tomate en présence des solutions acides dont l'action sur le développement à la lumière a déjà été reconnue dans nos premières expériences ; mais cette fois, les cultures ont été recouvertes de caisses et sont ainsi maintenues à l'obscurité pendant toute la période germinative.

I. — Graines de lin. — Nous savons déjà que la germination de ces graines, à la lumière, est favorisée par l'acide citrique à 0,5 o/oo, mais que

(1) Le même auteur ajoute, il est vrai, que l'obscurité prolongée est aussi favorable à la désacidification.

toutefois, au point de vue du poids sec, cette influence varie au cours du développement. Au début de la période germinative, il y a diminution de la substance sèche, tandis qu'à la fin la récolte en poids sec est augmentée de 14 o/o. L'influence de l'acide sur la turgescence est, d'autre part, favorable pendant toute la durée de la germination.

L'influence de cette même solution a donc été recherchée maintenant à l'obscurité, toutes autres conditions semblables, d'ailleurs.

L'ensemencement ayant été fait le 20 novembre, les plantules sont apparues le 24, et nous avons pu constater, cinq jours plus tard, qu'il y avait une avance réelle pour la culture acidifiée. Les poids de ces plantules sont à cette époque :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique à 0,5 o/oo.....	1 gr. 310	0 gr. 108	12
Eau	1 195	0 098	12

Ainsi l'acide augmente, cette fois, le poids sec comme le poids frais des plantules, et la teneur en eau n'est pas modifiée.

Les plantules s'allongent assez vite, ce qui est une conséquence de leur séjour à l'obscurité.

Les poids frais et secs sont le 1^{er} décembre :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique à 0,5 o/oo	1 gr. 535	0 gr. 098	15
Eau	1 670	0 098	17

Cette fois, le poids sec des plantules qui ont absorbé l'acide a diminué par rapport au poids sec qu'elles avaient le 24 novembre, et il y a égalité avec les témoins : l'acide diminue la turgescence.

De nouvelles pesées sont effectuées le 6 décembre et donnent les chiffres suivants :

	Poids frais	Poids sec	$\frac{F}{S}$
Acide citrique à 0,5 o/oo	1 gr. 885	0 gr. 098	19
Eau	1 655	0 083	19

Le poids sec des plantules témoins a donc commencé à diminuer par suite de l'épuisement des réserves ; celui des plantules en présence de l'acide se maintient plus longtemps. La teneur en eau est identique dans les deux cas.

En définitive, l'action de l'acide n'est pas tout à fait la même à l'obscurité et à la lumière, puisque, tandis que le poids sec était d'abord amoindri à la lumière sous l'influence de l'acide, il y a, à l'obscurité, augmentation de ce poids sec dès le début de la germination.

La masse de substances sèches décroît ensuite dans les deux cultures, mais l'acide retarde cet épuisement ; et il y a un peu avant la fin de la période germinative un gain de 15 o/o de matière sèche, résultat analogue à celui que nous avons obtenu à la lumière.

L'action de l'acide sur la turgescence, très favorable à la lumière, est nulle, ou légèrement nuisible, à l'obscurité.

2° *Graines de soja*. — Nous avons semé quatre lots semblables de ces graines dans des terrines arrosées les unes avec de l'eau, les autres avec une solution d'acide tartrique à 0,5 o/oo et nous avons comparé la germination à la lumière et à l'obscurité.

L'ensemencement a eu lieu le 12 décembre, et la température du laboratoire était d'environ 17°.

Les plantules sont apparues le 16 décembre dans les deux cultures non éclairées, et, parmi celles qui étaient éclairées, dans la culture acidifiée. Les graines éclairées et arrosées avec de l'eau n'ont levé que le lendemain.

Quelques jours plus tard, on remarque que les plantules qui se développent à l'obscurité se distinguent des autres, non seulement par leur manque de coloration, mais par leur plus grande taille, qui est en effet de 6 centimètres en présence de l'acide tartrique et de 4^{cm} 8 en présence de l'eau pure, tandis que les mêmes plantules mesurent en moyenne à l'obscurité 2^{cm} 4 et 2^{cm} 1. Voici le résultat des pesées effectuées à la même époque, après que les cotylédons ont été séparés des plantules.

Nous appellerons $\frac{P}{C}$, le rapport du poids frais des plantules à celui des cotylédons et $\frac{P}{c}$, le rapport des poids secs correspondants.

<i>A la lumière :</i>	Poids frais des plantules	Poids frais des cotylédons	$\frac{P}{C}$
Acide tartrique à 5 o/oo.	1 gr. 305	2 gr. 535	0,51
Eau.....	1 298	2 460	0,52

<i>A l'obscurité :</i>	Poids frais des plantules	Poids frais des cotylédons	$\frac{P}{C}$
Acide tartrique à 0,5 o/oo	3 gr. 035	2 gr. 698	1,12
Eau.....	2 298	2 460	0,73

<i>A la lumière :</i>	Poids sec des plantules	Poids sec des cotylédons	$\frac{P}{c}$
Acide tartrique à 5 o/oo	0 gr. 135	0 gr. 900	0,15
Eau.....	0 130	0 960	0,13

<i>A l'obscurité :</i>	Poids sec des plantules	Poids sec des cotylédons	$\frac{P}{c}$
Acide tartrique à 5 o/oo	0 gr. 203	0 gr. 870	0,23
Eau.....	0 190	1 090	0,17

On voit que l'acide est favorable au développement en poids frais et en poids sec, à l'obscurité comme à la lumière ; mais son action serait plus intense encore lorsque la plantule n'est pas éclairée.

Le 23 décembre, la hauteur de l'axe hypocotylé est de 8 centimètres dans les deux cultures placées à l'obscurité, de 5^{cm}, 3, dans la culture avec acide, à la lumière, et de 3^{cm}, 3, seulement dans la culture témoin.

Les poids des plantules et des masses de réserves correspondantes sont :

<i>A la lumière :</i>	Poids frais des plantules	Poids frais des cotylédons	Poids sec des plantules	Poids sec des cotylédons
Acide.....	2 gr. 463	3 gr. 465	0 gr. 200	1 gr. 145
Eau.....	1 793	3 140	0 175	1 100
<i>A l'obscurité :</i>				
Acide....	4 gr. 000	2 gr. 990	0 gr. 270	0 gr. 905
Eau.....	3 743	2 620	0 233	0 777

Donc nous avons pour $\frac{F}{S}$ (rapport du poids frais au poids sec des plantules), pour $\frac{P}{C}$ (poids frais des plantules au poids frais des cotylédons) et pour $\frac{p}{c}$, (rapport des poids secs correspondants) :

<i>A la lumière :</i>	$\frac{F}{S}$	$\frac{P}{C}$	$\frac{p}{c}$
Acide.....	12,3	0,71	0,17
Eau	10,2	0,57	0,15
<i>A l'obscurité :</i>			
Acide.....	14,8	1,33	0,29
Eau	16	1,42	0,29

Il y a toujours augmentation du poids sec des plantules arrosées avec la solution acide, qu'il y ait ou non éclairement, mais l'action de l'acide sur l'accélération de la transformation des réserves cesse de se produire à l'obscurité.

Quatre jours plus tard, la moyenne de longueur de l'axe est à la lumière de 6^{cm}4 dans la culture acide, de 6^{cm}3 dans la culture témoin, et elle est à l'obscurité de 11^{cm} 4 avec l'acide, de 10^{cm} 6 avec l'eau. Voici quelles sont les variations de poids correspondantes :

<i>A la lumière :</i>	Poids frais des plantules	Poids frais des cotylédons	Poids sec des plantules	Poids sec des cotylédons
Acide	4 gr. 750	3 gr. 083	0 gr. 355	0 gr. 750
Eau.....	3 427	2 998	0 270	0 845

A l'obscurité :

Acide	6 gr. 405	2 gr. 685	0 gr. 358	0 gr. 640
Eau.....	6 000	2 960	0 395	0 795

A la lumière :

	$\frac{F}{S}$ (plantules)	$\frac{P}{G}$	$\frac{p}{c}$
Acide.....	13,3	1,54	0,46
Eau.....	12,6	1,14	0,31

A l'obscurité :

Acide.....	17,8	2,38	0,55
Eau.....	15,1	2,02	0,49

Le rapport du poids des plantules à celui des cotylédons s'élève de nouveau à l'obscurité en présence de l'acide ; cela indique donc toujours l'accélération des phénomènes germinatifs. Il y a accroissement de la turgescence, mais le poids sec des plantules est un peu moins élevé qu'en présence de l'eau pure.

Nous donnons ci-dessous les résultats des dernières pesées effectuées avant la fin de la période germinative. Ils nous renseignent d'une façon précise sur la marche du développement dans les diverses conditions d'expérience.

A la lumière

	Poids frais des plantules	Poids frais des cotylédons	Poids sec des plantules	Poids sec des cotylédons
Acide	4 gr. 480	3 gr. 085	0 gr. 298	0 gr. 725
Eau	3 295	2 700	0 235	0 685

A l'obscurité :

Acide.....	7 gr. 500	2 gr. 825	0 gr. 410	0 gr. 628
Eau.....	7 950	3 125	0 433	0 635

	$\frac{F}{S}$	$\frac{p}{c}$
<i>A la lumière :</i>		
Acide.....	13,3	0,46
Eau.....	12,6	0,31

A l'obscurité :

Acide.....	18,2	0,65
Eau.....	18,3	0,67

L'influence favorable de l'acide continue à s'exercer sur la germination à la lumière, mais elle cesse de se produire à l'obscurité, où le poids frais et le poids sec sont même légèrement diminués.

En définitive, l'acide tartrique à 0,5 o/oo accélère la germination des sojas à l'obscurité. La transformation des réserves et leur migration dans la plantule est, en effet, plus rapide au début du développement lorsque les graines sont en présence de cet acide. Ce n'est que plus tard, lorsque les réserves

commencent à s'épuiser, que l'influence de l'acide est plutôt néfaste, à l'obscurité.

3° Grains de blé. — Nous avons fait germer ces grains en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo, qui, à la lumière, a provoqué une augmentation de 19 o/o du poids frais et une augmentation de 15 o/o du poids sec des plantules.

À l'obscurité, la levée s'est produite trois jours après l'ensemencement, c'est-à-dire le 7 janvier, et les plantules n'ont pas tardé à prendre une certaine avance sur les témoins.

Le 12 janvier, leur taille est, en effet, de 7 centimètres en présence de l'acide, et de 6^{cm} 4, seulement en présence de l'eau pure. Les poids frais de 20 plantules sont, le même jour : 2 gr. 815 dans la culture acidifiée et 2 gr. 600 dans la culture témoin ; les poids secs sont respectivement 245 milligrammes et 250 milligrammes. L'action de l'acide s'exerce donc au début de la germination en augmentant la teneur en eau.

La croissance des plantules est très rapide dans les deux lots et, le 14 janvier, la taille est de 10^{cm} 4 dans la terrine arrosée avec la solution acide et de 9^{cm} 3 dans la terrine arrosée avec l'eau pure.

Les poids de vingt plantules sont, à cette époque, de 3 gr. 835 en présence de l'acide, et de 3 gr. 500 en présence de l'eau pure. Le poids sec est de 337 milligrammes dans les deux cas. L'action de l'acide se manifeste donc encore par une augmentation de la turgescence.

À partir du 18 janvier, on commence à constater une augmentation du poids sec en présence de l'acide. Le poids de 20 plantules est en effet de 455 milligrammes, tandis qu'il n'est que de 325 milligrammes pour la culture témoin. Les poids frais sont en même temps de 5 gr. 45 avec l'acide, et de 4 gr. 640 avec l'eau pure.

Enfin, le 20 janvier, les poids frais sont respectivement 5 gr. 590 et 4 gr. 645, les poids secs correspondants étant 470 milligrammes et 430 milligrammes ; ce qui fait une augmentation de 20 o/o du poids frais et de 9 o/o du poids sec sous l'action de l'acide.

Si on compare ces résultats avec ceux que nous avons obtenus en faisant germer le blé à la lumière, on remarquera que l'éclairement augmente l'action de l'acide sur l'accroissement en substance sèche, mais que son influence a été nulle à l'égard du poids frais.

4° Graines de tomate. — Nous avons choisi pour cette étude une des solutions qui ont donné les meilleurs résultats sur la germination à la lumière c'est l'acide oxalique à 0,5 o/oo.

Les graines sont semées le 15 janvier et lèvent le 2 février dans la terrine

arrosée avec la solution acide, tandis que les plantules témoins n'apparaissent que le lendemain.

L'acide accroît d'abord le développement, puisque, le 9 février, le poids de 20 plantules est de 518 milligrammes, alors qu'il n'est que de 495 milligrammes dans la culture témoin. Les poids secs des mêmes plantules sont respectivement de 48 et de 42 milligrammes. La teneur en eau est légèrement diminuée par l'effet de la solution d'acide, puisque le rapport du poids frais au poids sec est de 10,8, tandis qu'il est 11, 7 lorsque le sable n'a été arrosé qu'avec de l'eau pure.

L'influence de l'acide paraît varier avec l'époque du développement, car le 13 février, de nouvelles pesées nous apprennent que le poids frais est toujours supérieur en présence de l'acide (585 milligrammes au lieu de 510 milligrammes), mais que le poids sec est exactement le même dans les deux lots, soit 35 milligrammes.

On remarquera que les réserves de la graine sont déjà épuisées puisque le poids sec d'ensemble a diminué par rapport à ce qu'il était le 9 février. Les plantules continuent cependant leur croissance et augmentent toujours de poids frais. Celui-ci est égal, le 20 février, à 650 milligrammes en présence de l'acide oxalique, et à 660 milligrammes en présence de l'eau pure; les poids secs étant respectivement 29 milligrammes et 30 milligrammes. L'influence de l'acide semble donc alors néfaste.

L'acide oxalique hâterait les premiers phénomènes germinatifs et se montrerait favorable au développement en poids frais et en poids sec pendant une première période de la germination. Mais viendrait une seconde période durant laquelle son influence ne s'exercerait plus sur le poids sec, mais seulement sur la teneur en eau des plantules. Enfin, au cours d'une troisième période, les plantules témoins sont plus robustes que les autres. A ce moment, l'acide, qui a rendu plus rapide la transformation des réserves, est impropre à la nutrition du végétal.

Résumé général. — L'influence des acides accélère la germination, à l'obscurité comme à la lumière, mais l'action favorable de ces acides est moins intense et moins durable lorsqu'il n'y a pas éclaircissement.

Avec les graines de soja, l'acide tartrique à 0,5 o/oo semble devenir nuisible à la fin de la période germinative, les réserves s'épuisant plus rapidement, et l'acide paraissant impropre à la nutrition de la plantule à l'obscurité. Le phénomène est analogue, mais plus accusé encore, avec l'acide oxalique agissant sur les graines de tomate.

L'acide citrique, par contre, semblerait plus apte à servir d'aliment à la

jeune plante en l'absence de lumière. Il a retardé l'épuisement des plantules de lin et augmenté le poids sec de celles de blé, à une période assez avancée de la germination.

Toutefois il est bien évident que la lumière est, dans tous les cas, un agent favorable à l'utilisation des acides par la jeune plante.

En dehors du concours de l'énergie lumineuse, l'acide peut bien agir comme excitant mais il n'aura pas la même valeur alimentaire.

CHAPITRE IX

INFLUENCE DU COURANT ÉLECTRIQUE SUR LES GRAINES

EN SOLUTIONS ACIDES

Diverses expériences antérieures nous ont démontré que, après l'absorption d'un acide par la graine, la respiration et le développement sont modifiés et que ces changements sont souvent le résultat de l'oxydation de l'acide, avec formation d'acide carbonique et d'un corps capable d'augmenter le poids sec de la plante.

Comme tous les acides étudiés, quelle que fût leur nature, ont produit des effets comparables, on peut se demander si les phénomènes observés ne sont pas uniquement dûs à l'acidité conférée à la graine. Or les solutions d'acide sont capables de conduire l'électricité ; par conséquent elles contiennent, à côté des molécules normales, des fragments de molécules dissociées qui sont les ions. Les propriétés chimiques des substances électrolytiques sont presque toujours des actions ioniques. Tous les acides ayant le même cation, qui est l'ion hydrogène, ont tous des propriétés analogues ; ils ne diffèrent que par les propriétés des anions qui sont les radicaux variables. Il s'agissait donc de savoir si l'action de l'acide sur le végétal est due au cation, la présence de l'anion dans la graine ne produisant, dans ce cas, que des effets secondaires.

Un fait qui peut fortifier l'hypothèse de l'action ionique des acides, c'est que les solutions les plus favorables sont presque toujours très diluées comme nous l'avons fait remarquer plus haut. Or le degré de dissociation des corps, autrement dit la proportion d'ions libres, augmente avec la dilution.

C'est en considération de cet ensemble de phénomènes que nous avons été amenée à faire pénétrer dans la graine une partie seulement de l'acide au moyen du courant électrique. Cette partie de nos expériences a été faite en collaboration avec M. le docteur P. Drevon.

La graine, qui est choisie d'assez grande taille pour qu'il soit possible de la piquer sans dommage par l'une des aiguilles qui serviront d'électrodes, est placée dans une cuve à électrolyse. La solution acide y est versée de façon à ce qu'une très petite partie de la surface de la graine soit baignée. L'une des aiguilles, reliée, par exemple, avec le pôle positif du courant, plonge dans le liquide ; l'autre est piquée dans la graine. Lorsque le courant passe, l'ion hydrogène doit se déposer au pôle négatif, et le radical acide à l'anode, c'est-à-dire dans le végétal.

Première expérience. — Les graines choisies sont les fèves. Pour les piquer plus facilement, nous les avons plongées dans l'eau pendant quelques heures.

La solution électrolytique est celle d'*acide citrique* à 0,5 o/oo, solution dont nous avons reconnu les effets sur les fèves dans des expériences antérieures, et ces effets sont : l'élévation du quotient respiratoire, l'augmentation de la turgescence, l'accélération de la germination.

Dans une première série d'essais, la cathode est piquée dans la graine au-dessus de l'insertion de la radicule, de façon à ce qu'elle pénètre entre les cotylédons.

La fève est placée dans le bain de telle manière qu'une très petite partie de la surface du tégument soit immergée ; la cathode ne l'est pas du tout. A une certaine distance, l'anode plonge dans la solution (*fig. 8*).

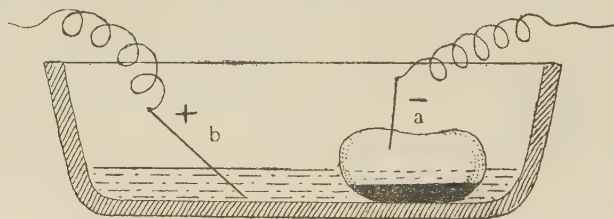


FIGURE 8

Fève dans une solution d'acide citrique. La cathode est piquée dans la graine.

Une graine I est pénétrée par un courant de 5 milliampères pendant quinze minutes.

On constate un dégagement gazeux en *a*, c'est-à-dire au point où l'électrode pénètre dans la graine. C'est le dégagement d'hydrogène que nous prévoyions. Nous approchons un morceau de papier de tournesol en ce point et nous le voyons fortement bleuir. L'introduction de l'ion hydrogène caractéristique des acides provoque donc dans la graine une combinaison à réaction basique.

En *b*, région de contact de l'anode et de la solution, nous constatons une

altération rapide de l'aiguille. De plus, la fève noircit dans la région plongée dans le liquide.

Toujours dans les mêmes conditions, une fève II est traversée par un courant de 1 milliampère pendant dix minutes, une fève III par un courant de 1 milliampère pendant cinq minutes. Les phénomènes précédemment décrits se reproduisent, mais le dégagement gazeux en *a* et le noircissement en *b* sont moins intenses.

Dans une deuxième série d'essais c'est l'anode qui pénètre dans la graine ; la cathode plonge dans le liquide (*fig. 9*).

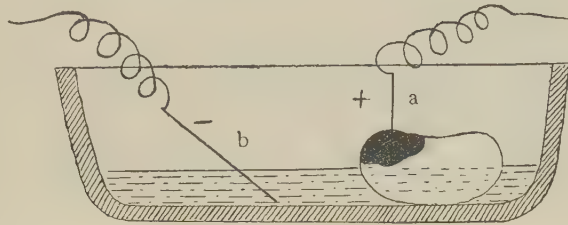


FIGURE 9

Fève dans une solution d'acide citrique. L'anode est piquée dans la graine.

Une fève I', est pénétrée par un courant de 5 milliampères pendant quinze minutes.

On constate cette fois un dégagement gazeux en *b*, c'est-à-dire au contact de l'électrode, qui maintenant n'est plus altérée. La fève ne noircit plus dans la partie plongée, mais dans celle qui environne l'anode, c'est-à-dire vers *a*. En ce point le papier de tornesol rougit.

Une fève II' est traversée dans les mêmes conditions par un courant de 1 milliampère pendant dix minutes, une autre III' par un courant de 3 milliampères pendant cinq minutes. Mêmes phénomènes qu'avec I' sont observés, mais avec une intensité moindre.

Le lendemain matin les fèves II et III, II' et III' sont placées dans des tubes clos, ainsi que des graines témoins, pour en étudier la respiration.

Les fèves I et I' sont conservées pour l'examen microchimique.

Tandis que la respiration de deux fèves témoins (non plongées dans l'acide et non électrisées, mais plongées dans l'eau), nous a donné le quotient très élevé 1,31, nous avons obtenu : pour les fèves II et III du premier lot 0,99, et pour les fèves II' et III' du second lot le quotient 1,10.

L'analyse de l'air étant faite, les graines sont placées entre deux feuillets de ouate humide.

Le 21 avril, la graine III commence à germer, tandis que les graines II' et III', la graine II et les fèves témoins germent le 23.

Le 25 avril, on remarque que les racines des fèves de la seconde série (anode dans la graine) sont remarquablement plus courtes et plus épaisses que les autres.

Le 28 avril, les fèves III et II', qui sont les moins avancées comme germination, sont mises de côté pour l'examen microscopique de leurs tissus. Les fèves II et III' sont placées dans de petits pots de sable humide, la gemmule commençant à se développer.

Le 3 juin, la fève II, traversée par un courant de 1 milliampère pendant dix minutes (cathode dans la graine), a donné une plante plus belle que la fève témoin. La tige est plus épaisse, les feuilles plus grandes. La fève III', traversée par un courant de trois milliampères pendant cinq minutes (anode dans la graine), a donné une plantule chétive dont les feuilles sont à peine développées. Voici d'ailleurs les nombres relevés :

	Longueur de la tige	Poids frais	Poids sec
Fève II'.....	33 cm	5 gr. 840	0 gr. 612
Fève III'.....	15 cm	1 gr. 747	0 gr. 195
Fève témoin.....	34 cm	6 gr. 208	0 gr. 610

L'examen microscopique des fèves I et I' a donné lieu aux observations suivantes :

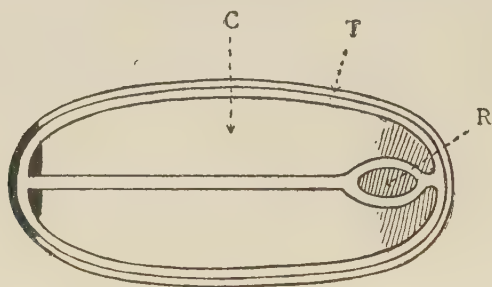


FIGURE 10

Section transversale schématique d'une graine
piquée par la cathode.
R, radicule. C, cotylédons. T, tégument.

Une coupe transversale de la graine I passant par la radicule offre, par rapport à une coupe faite sur une fève témoin, deux régions distinctes : une qui correspond à la partie de la graine qui trempait dans la solution acide, l'autre à la partie opposée qui avoisinait la cathode (*fig. 10*).

La première est caractérisée par la coloration noire des cellules du tégument, et grisâtre des tissus cotylédonaire sous-jacents. Elle est très limitée et reste bien en surface. Comme les électrodes étaient en acier et qu'elles avaient été rapidement attaquées, nous avons supposé que la couleur noire

pouvait provenir du dépôt d'un sel ou d'un oxyde de fer, au pôle positif qui est ici constitué par le bain tout entier.

Nous avons donc essayé la réaction du ferrocyanure de potassium en solution légèrement acide et nous avons vu se produire une belle coloration bleu de Prusse dans la région que nous avons indiquée.

La seconde région dont nous avons parlé intéresse la radicule et les parties limitrophes des cotylédons ; elle est un peu plus brune que le reste de la coupe, et les cellules de l'amande semblent un peu contractées, mais il ne semble pas y avoir de modifications dans le contenu cellulaire.

La fève I' coupée transversalement est remarquable par le dépôt noirâtre qui envahit la radicule et les bords internes des cotylédons. (*Fig. 11*).

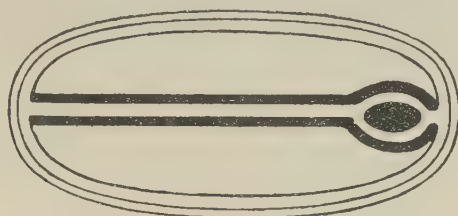


FIGURE 11

Section transversale schématique d'une graine piquée par l'anode.

Le ferrocyanure de potassium indique la présence du fer. C'est l'anode qui a été cette fois introduite dans la graine, au-dessus de la radicule, elle a passé entre les cotylédons. De là le fer a été porté vers l'intérieur des tissus, mais il n'a pu franchir que quelques assises de cellules. On ne distingue pas dans cette graine la région qui a été trempée dans la solution acide, des autres. Nous avons noté, plus haut, que de jeunes plantules avaient été sacrifiées le 28 avril pour l'examen histologique.

A l'intérieur de la graine III (1^{re} série), on ne trouve que quelques faibles traces de fer dans le tégument ; il n'y en a pas dans les cotylédons. Mais la région correspondant à la cathode est bien distincte. Elle est un peu plus jaune et bordée par une zone limite, dont les cellules brunâtres semblent presque subérifiées.

Lorsque l'on traite par l'eau iodée, les grains d'amidon paraissent plus abondants dans les cellules qui ont entouré la cathode, le protoplasme plus dense. Il semble que les tissus se soient un peu contractés, peut-être à la suite d'un léger dessèchement des cellules ; et cela donne au contenu cellulaire l'apparence d'être plus abondant.

Nous avons recherché le fer dans la plantule, mais nous n'en avons trouvé ni dans la radicule ni dans la gemmule.

La fève II' a produit une racine très ramassée et très grosse dans laquelle le ferrocyanure ne décèle pas de traces de fer. La gemmule n'en offre pas non plus. Il en reste dans les cotylédons, où il paraît avoir pénétré très légèrement dans l'intérieur des tissus.

De cette première expérience nous concluons donc :

1° Lorsqu'on soumet une fève à l'électrolyse dans une solution d'acide citrique avec des électrodes en acier, il se produit un dégagement gazeux à la cathode, et une attaque des électrodes ;

2° Le composé ferrique est arrêté et incorporé dans les tissus les plus rapprochés de l'anode ;

3° Le dégagement gazeux à la cathode est vraisemblablement de l'hydrogène ;

4° D'autres phénomènes diffèrent suivant que l'on pique soit l'anode, soit la cathode dans la graine ;

Lorsque la *cathode* pénètre dans la fève, le bleuissement du papier de tournesol aux points de contact indique la formation d'un corps basique (Nous pensons que c'est de la potasse qui résulterait de la décomposition des sels de la graine) ;

5° Les tissus de cette région semblent souffrir et se contracter ; plus tard, lors de la germination, ils seront isolés par une assise de cellules subérifiées ;

6° Dans la partie de la fève qui baigne dans la solution et qui est par conséquent la plus rapprochée de l'anode, du fer apparaît dans le tégument ; et lorsque le courant de cinq milliampères passe pendant un quart d'heure, il pénètre dans les assises extérieures des cotylédons.

7° Lorsque c'est l'*anode* qui est piquée dans la fève, le fer doit cheminer de l'intérieur vers la surface mais il ne gagne que quelques assises de cellules et n'émigrera pas dans la plantule au moment de la germination.

8° Plus tard, la graine donnera une radicule remarquablement épaisse et courte.

9° Le quotient respiratoire, qui est, d'ordinaire, élevé par l'action des acides, a été abaissé dans les deux séries de graines expérimentées. Ce renversement du phénomène peut tenir à l'action du fer, à celle de la blessure infligée par l'aiguille, à celle de la diversité d'action de l'acide citrique et de ses ions composants.

10° La germination semble favorisée lorsque la cathode a été piquée dans la graine ; elle est gênée lorsque le courant passe dans le sens inverse.

En résumé, l'acide citrique introduit par la voie électrique dans la fève ne produit pas les mêmes effets que lorsqu'il pénètre normalement par osmose.

Toutefois, comme nous avons opéré avec des électrodes attaquables,

l'action propre du fer a pu se superposer à celles des ions composants de l'acide citrique et il nous est difficile de conclure à leur action respective sur la respiration et la germination. D'où la nécessité d'une autre expérience dans d'autres conditions.

Deuxième expérience. — Cette seconde expérience a donc été faite en remplaçant, cette fois, les aiguilles d'acier par des électrodes inattaquables, en platine.

La solution électrolytique est celle d'acide citrique à 1 o/oo.

Chaque fève a été traversée par un courant de 6 milliampères pendant dix minutes,

On voit, dès la fermeture du courant, un dégagement gazeux se produire à la fois à la cathode et à l'anode, quelle que soit l'électrode piquée dans la graine.

Comme dans l'expérience précédente, le papier de tournesol bleuit autour de la cathode, lorsqu'elle est placée dans la graine.

Après l'ionisation, les fèves sont portées dans des flacons d'Erlenmeyer, dans les bouchons desquels s'engagent des tubes permettant de faire des prises d'air. L'analyse nous a donné comme quotient $\frac{CO^2}{O}$:

Fèves ayant reçu l'anode.....	0,92
»	0,89
Fèves témoins	1,28

Les fèves sont ensuite placées dans du sable humide, où la germination se produit :

Les graines piquées par la cathode ont un retard sensible, les autres ont germé en même temps que les témoins.

Les plantules sont sacrifiées un mois après l'ionisation. Nous donnons ci-dessous la longueur de la tige, le poids sec moyen d'une plantule, le poids sec moyen des cotylédons correspondants, ainsi que le rapport $\frac{p}{c}$ du poids sec des plantules à celui des cotylédons, rapport qui indique la rapidité de la transformation des réserves.

	Longueur de la tige	Poids d'une plantule	Poids de deux cotylédons	$\frac{p}{c}$
Fèves ayant reçu l'anode. . .	38 ^{cm}	0 gr. 597	0 gr. 666	0,89
Fèves ayant reçu la cathode. .	6 ^{cm}	0 472	0 750	0,62
Fèves témoins.....	43 ^{cm}	0 685	0 335	2,04

Nous voyons ainsi que le fer n'était pas, dans l'expérience précédente, la cause qui abaissait le quotient respiratoire des fèves, puisque le phénomène

se produit aussi avec les électrodes en platine. Il est difficile de l'expliquer, surtout dans le cas où la graine a été piquée par l'anode, puisque nous avons constaté un dégagement d'oxygène autour de cette électrode.

L'abaissement du quotient respiratoire doit provenir de ce que le passage du courant a eu pour conséquence : ou bien d'augmenter, à l'intérieur de la graine, les oxydations de corps dont la décomposition donne un rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ assez faible ; ou bien de diminuer l'émission d'acide carbonique provenant des décompositions où n'intervient pas l'oxygène (l'acide carbonique provenant du dédoublement des matières albuminoïdes par la carbonase de Palladine) ; ou encore de détruire le rôle joué, dans la respiration normale des fèves, par le tégument.

On a sans doute remarqué, en effet, que le quotient respiratoire de ces graines est très supérieur à l'unité dans les conditions normales. Nous avons pu constater que cette élévation du quotient était liée à la présence du tégument, et nous avons rapproché ce phénomène de ceux que nous avons constatés antérieurement chez le haricot, et qui nous ont amenée à attribuer au tégument un rôle de réserve oxygénée pour la respiration de l'amande.

Une seconde constatation faite au cours de l'expérience précédente, c'est que le passage du courant produit de mauvais résultats au point de vue de la germination.

A l'inverse de ce que nous avons observé tout à l'heure, c'est lorsque la cathode a été piquée dans la graine que le développement est le plus rapide.

En résumé, les expériences que nous avons entreprises dans le but de connaître l'influence de chacun des ions composant des acides (radical et hydrogène) ne nous ont pas donné de résultats capables de nous éclairer sur le mode d'action de ces corps dans le végétal ; mais nous avons été amenée, du moins, à faire à cette occasion quelques observations qui nous semblent intéressantes.

Le passage du courant électrique à travers les fèves en voie de germination modifie leur respiration en abaissant au-dessous de l'unité le quotient respiratoire, qui est normalement supérieur à 1 ; et le phénomène se produit, quel que soit le sens du courant.

Lorsqu'on pique la cathode dans la graine, il se produit un dégagement gazeux d'hydrogène et une substance fortement basique aux points de contact ; les tissus de la région semblent souffrir et se contracter, ils s'isolent plus tard par une assise de cellules subérifiées.

L'influence exercée par l'anode, lors du passage du courant, varie essentiellement suivant la nature du métal qui la constitue. Lorsque l'électrode employée est inattaquable, on observe un dégagement d'oxygène et la formation d'un acide, mais les tissus ne semblent pas se modifier ; lorsque l'anode

est en acier, la fermeture du courant amène le transport de particules d'un composé ferrique dans la graine. Cette pénétration du fer dans le végétal semble cependant rencontrer une grande résistance de la part du protoplasme, car elle ne s'effectue que très lentement et elle est limitée aux régions les plus voisines de l'anode. Nous n'avons jamais retrouvé ce métal dans les organes nouvellement formés, pendant la germination.

L'influence du courant sur le développement ultérieur varierait suivant le sens et l'intensité de ce courant.

CHAPITRE X

MODIFICATIONS ANATOMIQUES PRODUITES PAR LES ACIDES

PENDANT LA PÉRIODE GERMINATIVE

On sait, depuis les remarquables travaux de M. Gaston Bonnier, que la forme et la structure des végétaux sont, dans certaines limites, sous la dépendance étroite des facteurs extérieurs et que, à côté des caractères spécifiques immuables, il en est qui sont dus à l'influence du milieu, c'est-à-dire à l'éclairement, à la température, à l'humidité.

Certains auteurs, en outre, tels que M. Dassonville et M. Molliard ont reconnu une action des sels ou des matières organiques sur la structure des végétaux. C'était, dès lors, le complément naturel de l'étude précédente que de rechercher si nos acides ne provoquaient pas, de même, des modifications anatomiques, puisque nous avons vu le retentissement marqué qu'ils peuvent avoir sur le développement.

Dans ce but, nous avons examiné de jeunes plants qui ont été cultivés les uns dans du sable de Fontainebleau arrosé avec un acide, les autres dans le même sable arrosé avec de l'eau pure. Lorsque l'acide provoque une modification sensible de la croissance, nous avons comparé des sujets de même âge, et d'autre part, des individus d'âge différent, mais arrivés au même stade de développement. De la sorte, les différences que nous notons, ne sont pas dues uniquement à ce que les graines en milieu acide ont germé plus ou moins vite que les témoins ; elles sont la conséquence de la pénétration des acides extérieurs.

Les plantules que nous avons ainsi étudiées sont celles de fève, de lupin, de haricot, de tomate et de chanvre.

Faba vulgaris. — Nous avons comparé la structure d'une plantule (A) cultivée en milieu acidifié par 2,5 o/oo d'acide citrique à celle d'une plantule (B) cultivée en milieu neutre. Bien que le lot des plantules développées en

présence de cet acide fût en avance sur le lot témoin, nous avons choisi des individus de taille à peu près semblable dans les deux lots, de façon à éliminer les différences anatomiques dues uniquement au stade plus ou moins avancé du développement.

La plantule provenant du lot acide a une tige de 10 centimètres, qui porte vers son sommet deux petites feuilles vertes, non encore étalées, et, plus bas, deux autres petites feuilles encore repliées. La tige de la plantule témoin a la même longueur, mais elle ne porte que les deux feuilles de l'extrémité supérieure. La racine de la plantule du lot acide est plus ramifiée que celle du sujet témoin.

Tige. — Les coupes ont été faites dans la partie moyenne. Leur contour est plus irrégulier dans la plantule A que dans B, et ceci est la conséquence d'un plus grand nombre de faisceaux corticaux.

Le diamètre moyen du cylindre central est de 1.500μ et l'épaisseur de l'écorce de 1.200μ environ dans les deux cas, mais le liber est plus développé en présence de l'acide; et les vaisseaux, s'ils ne sont pas plus nombreux, sont, toutefois, de plus grand calibre. Celui des plus gros vaisseaux du lot A varie de 30 à 47μ tandis que celui de B n'atteint que 30 à 39μ en moyenne.

Racine. — Les coupes intéressent une région située à 3 centimètres de la base. L'écorce semble ne s'être aucunement modifiée; le cylindre central, par contre, présente quelques variations dont la principale est une augmentation de diamètre sous l'influence de l'acide. Ce diamètre est en effet de 180μ dans A, alors qu'il n'est que de 150μ dans B. D'autre part, le nombre des vaisseaux est, en moyenne, pour chacun des faisceaux ligneux, de 16 en présence de l'acide, de 14 en présence de l'eau pure; leur calibre est de 20 à 25μ en A, de 17 à 23μ en B. Le liber se cloisonne aussi plus rapidement en A; mais la différence qui frappe peut-être le plus est la présence de trois fibres lignifiées au centre de la moelle de la plantule témoin, alors que cette moelle est entièrement parenchymateuse dans la plantule A, qui semble pourtant plus différenciée.

Lupinus albus. — Nous avons étudié comparativement l'anatomie des plantules développées en présence de l'acide citrique à 2,5 o/oo et de l'eau pure et nous n'avons constaté aucune différence digne d'être rapportée. Ceci peut sembler assez étrange, étant donné que l'espèce est de même famille que la précédente, mais il faut tenir compte ici d'une sensibilité très différente à l'égard des acides puisque, tandis que la germination des fèves a été activée par les solutions acides, celle des lupins a été, au contraire, plutôt retardée. Par conséquent, il y a concordance entre les résultats antérieurs et notre constatation anatomique actuelle.

Phaseolus vulgaris. — Avec les haricots, les résultats sont les mêmes qu'avec les lupins ; les seules différences observées sont celles qui résultent d'un retard dans le développement des individus qui ont germé en présence des acides, retard que nous avons vu être toujours la conséquence, pour cette espèce, de l'acidité du milieu.

Il semble, en définitive, que, lorsque les acides sont défavorables et ralentissent la végétation, ils influent moins sur la structure que lorsqu'ils ont hâté la croissance.

Lycopersicum esculentum. — Nous avons comparé la structure de l'axe hypocotylé dans des plantules développées en présence de l'acide malique et de l'acide chlorhydrique, en concentrations qui favorisent l'accroissement. Voici les dimensions pour des coupes faites dans la région médiane :

	Acide chlorhydrique	Acide malique	Eau
Épaisseur de l'écorce.....	289 μ	263 μ	243 μ
Diamètre du cylindre central.....	274 μ	221 μ	210 μ
Rapport de ce diamètre à l'épaisseur de l'écorce.....	0,94	0,84	0,86
Diamètre d'une cellule corticale....	78 μ	65 μ	51 μ
Diamètre des plus grands vaisseaux...	25 μ	21 μ	19 μ

Ces chiffres indiquent bien que les acides ont augmenté l'épaisseur de toutes les régions (écorce, et cylindre central), en même temps que la grandeur des cellules corticales et le calibre des vaisseaux du bois. Seul toutefois l'acide chlorhydrique, plus actif à cet égard que l'acide malique, augmente le volume du cylindre central par rapport à celui de l'écorce.

Cannabis sativa. — Les plantules que nous avons comparées sont, d'une part, des plantules de chanvre élevées en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo et à 2,5 o/oo et, d'autre part, des plantules témoins qui n'ont eu à leur disposition que de l'eau pure.

L'écorce est plus épaisse avec l'acide à 0,5 o/oo ; elle mesure en effet 510 μ , alors qu'avec l'acide à 2,5 o/oo et avec l'eau pure elle n'est que de 375 μ environ.

Dans le cylindre central, on remarque deux faisceaux du bois dont la partie externe est plus large et comprend un plus grand nombre de vaisseaux dans les plantules témoins et dans celles qui ont été cultivées avec l'acide à 2,5 o/oo. Exactement, ce nombre des vaisseaux est de 26 dans les plantules témoins, de 24 avec l'acide le plus concentré et de 17 seulement avec l'acide dilué. L'acide citrique en faible dose a donc ici nettement retardé la lignification des éléments vasculaires.

En résumé, l'absorption des acides pendant la période germinative modifie assez sensiblement la structure des plantules.

Pour des individus de même âge, la différenciation est plus ou moins avancée suivant que la solution acide absorbée hâte ou retarde les phénomènes germinatifs, mais si l'on compare des plantules arrivées au même stade de développement, on voit que la structure des plantes élevées en milieu acide présente quelques caractères particuliers.

Les tissus de soutien sont moins différenciés, la lignification des éléments du bois est parfois retardée. Mais à ces caractères de moindre différenciation s'opposent l'augmentation de volume de l'écorce et surtout du cylindre central, le plus grand calibre des vaisseaux et souvent l'accroissement du liber. Fait curieux, nous ne retrouvons pas de différences aussi nettes, dans un sens quelconque, chez les plantules qui n'ont pas utilisé les acides pendant la germination.

L'action spéciale de chaque acide n'a pas été étudiée, mais nous pouvons cependant présumer déjà qu'il y aurait au moins des différences d'intensité dans les effets produits, puisque nous avons pu observer, avec les plantules de tomate, que les modifications de structure provoquées par l'acide chlorhydrique ont été plus énergiques que celles qui ont été corrélatives de l'absorption d'acide malique. L'action d'un acide serait encore très différente suivant la concentration.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Si nous rapprochons les principaux résultats obtenus au cours de ces recherches, nous voyons qu'il s'en dégage un certain nombre de faits nouveaux qui peuvent être ainsi résumés :

1° Il est de nombreuses graines dont la germination est nettement favorisée par la présence d'acides dilués dans le milieu où elles se trouvent, que ces acides soient des acides organiques ou des acides minéraux. L'apparition des plantules a lieu alors plus tôt qu'en présence de l'eau ordinaire ; la croissance de ces plantules est aussi plus rapide, leur poids sec et leur poids frais sont plus grands. Et, puisqu'il y a, en particulier, élévation de poids sec, c'est la preuve que l'acide n'a pas seulement contribué à augmenter la turgescence de la plante, mais aussi à accroître sa récolte en accélérant ses phénomènes nutritifs.

Les graines qui profitent le mieux de cette acidité ambiante sont, ainsi que nous l'avons reconnu, celles qui proviennent de fruits charnus acides, et nous sommes tentée d'interpréter ce phénomène comme une adaptation aux conditions naturelles de la germination. Tantôt, en effet, dans ces fruits, l'acidité disparaît de très bonne heure, chez les Cucurbitacées par exemple ; tantôt, au contraire, cette acidité persisterait plus longtemps, comme dans les fruits de tomate ou d'Aurantiacées. Peut-être alors, pourrait-on objecter que c'est dans les premiers fruits qu'on voit le plus fréquemment, comme l'a constaté M. Leclerc du Sablon, la germination se produire avant la pourriture du périscarpe ; et ce serait l'acide persistant des autres qui empêcherait cette germination. Mais nos recherches établissent que cette acidité ne doit pas dépasser un certain degré, et ce n'est donc que lorsque, au cours de la décomposition, ce degré est atteint que la germination de ces graines pourra être obtenue. D'ailleurs, d'après les recherches de M. Mazé, il est encore une autre cause, qui pourrait, indépendamment de l'acidité, retarder cette germination dans le fruit, c'est la présence de corps tels que l'aldéhyde éthylique, qui ne disparaissent que peu à peu, à moins que l'envahissement de la pulpe par les moisissures ne hâte cette disparition. Nous ne voulons pas dire, du reste, par tout ce qui précède que, seules, les graines qui sont appelées à germer normalement en présence des acides, soient capables d'utiliser ces acides pendant leur

germination ; nous avons établi, au contraire, au cours de ce travail, que bien d'autres graines provenant de fruits à péricarpe sec en ont profité de la même manière. Toutefois, il y aurait alors à cet égard de grandes différences spécifiques, qui tiendraient peut-être à la nature des diastases qui se développent dans la graine au cours de la germination.

On sait, en effet, d'après Neumeister, que certaines graines, en germant, produisent une pepsine qui, comme chez les animaux, ne peptonise les albuminoïdes qu'en milieu acide (courge, pavot, maïs et peut-être blé) ; les graines de lupin, de vesce, d'avoine n'en contiennent pas, mais renferment de la peptone qui est alors matière de réserve. D'après d'autres auteurs, les graines de lupin contiennent une trypsine qui agit plutôt en milieu alcalin. Or, dans nos expériences, la germination des graines de courge, de maïs et de blé est favorisée par les acides extérieurs, tandis que celle des lupins est entravée par les mêmes substances. Il nous semble qu'il y a là plus qu'une coïncidence, et que l'action de l'acide doit changer de sens, suivant qu'il crée dans la graine une réaction favorable ou nuisible à l'activité diastasique.

A côté des différences spécifiques que présentent les graines il faut tenir compte aussi de la nature des acides employés, qui n'agissent pas tous de la même manière sur toutes ces graines d'espèces diverses. Leurs effets diffèrent de même suivant les concentrations, dont les optima varient souvent au cours du développement. En général, pourtant, les solutions les plus profitables sont généralement celles qui sont très diluées.

Les acides organiques donnent de meilleurs résultats au point de vue de l'augmentation de poids sec que les acides minéraux ; par contre, les sels des acides actifs augmentent la turgescence mais ne modifient pas le poids sec. Il y a, par conséquent, une action propre de l'acidité, et nous ne pouvons, dès lors, accepter les conclusions formulées par certains auteurs, tels que MM. Claudel et Crochetelle, qui croient à une action néfaste de l'acidité extérieure sur la germination.

Ces données une fois acquises, nous avons cherché à en déduire une application pratique. En fait, nous avons tout d'abord établi que l'absorption des acides se produit dès le début de la germination, à l'époque qui correspond au gonflement de la graine. La quantité d'acide ainsi absorbée immédiatement a même une telle influence sur le développement ultérieur des plantules que l'effet produit, contrairement à ce qu'on pourrait croire, n'est pas sensiblement augmenté lorsque les acides sont fournis pendant toute la durée de la période germinative, à la condition, du moins, que l'ensemencement soit effectué dans un milieu stérile comme le sable de Fontainebleau. Quand, d'autre part, les graines qu'on a acidifiées sont semées dans un terrain plus ou moins basique, les variations du développement évidemment

s'atténuent, néanmoins elles ne changent pas de sens. Les concentrations d'acide employées dans ce dernier cas doivent seulement être plus fortes.

L'influence des acides extérieurs peut aussi être combattue par certaines matières nutritives. Il existe notamment un antagonisme entre l'action de la liqueur de Knop et celle des acides. Fait inattendu, cet antagonisme cesse de se produire lorsque l'acide, au lieu d'être ajouté à la solution de la totalité des substances qui constituent la liqueur de Knop, est ajouté à des solutions de ces mêmes substances isolées. Et ceci ne peut s'expliquer que par une action de l'acide qui s'exercerait non sur les sels mêmes qui ont été introduits dans la liqueur, mais sur les combinaisons nouvelles qui se produisent entre ces sels. Remarquons que nous ne concluons pourtant pas de là que ce sont ces réactions, se produisant entre l'acide et les substances du milieu, qui causent l'accélération du développement tant de fois observée. L'absorption des acides par la jeune plante est réelle, et nous l'avons démontrée en déterminant les variations de concentration subies par des solutions acides dans lesquelles plongent les radicules de nos graines. Mais cette absorption diminuerait plutôt au cours du développement, et son intensité dépendrait à la fois de l'espèce et de la nature de l'acide, quoique, d'une façon générale, elle augmenterait avec les concentrations employées. Cette absorption semble, de plus, indépendante de l'action de la lumière.

Par le dosage acidimétrique des plantules développées dans les divers milieux, nous avons établi que l'absorption de l'acide n'augmente pas l'acidité interne des plantules. Il y a donc une rapide transformation de ces acides à l'intérieur du végétal. Et cette activité de l'acide après sa pénétration dans la plante est caractérisée par les modifications profondes qu'elle provoque dans le phénomène respiratoire. A doses convenables, il y a toujours une élévation du quotient respiratoire, qui peut s'accompagner ou non d'une augmentation de l'intensité des échanges gazeux. Quant aux modifications apportées à la respiration intramoléculaire, modifications qui sont moins profondes que celles de la respiration normale, elles prouvent que, généralement, la décomposition des acides, ou tout au moins les réactions que ces corps provoquent à l'intérieur des tissus, nécessitent une oxydation. Au cours de ces recherches sur les échanges gazeux, nous avons été amenée à nous apercevoir qu'il est des graines qui possèdent normalement un quotient $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ supérieur à l'unité, et nous avons pu, suivant les cas, en donner une explication plus ou moins complète. Chez certaines espèces (groseillier), cette anomalie proviendrait de l'action des acides du fruit, dont la pulpe reste en partie adhérente aux semences ; chez d'autres (haricot, fève), elle serait due à la fois aux substances contenues dans le tégument et à la constitution même

de ce tégument, ainsi que nous l'avons indiqué ; enfin dans un troisième cas (oseille), ce serait à l'acidité naturelle des graines ainsi qu'à la structure du tégument qu'il faudrait l'attribuer.

D'accord avec les auteurs qui se sont occupés de l'acidité végétale, nous avons reconnu que la lumière intervient dans la transformation des acides à l'intérieur de la plante. A l'obscurité, les acides accélèrent la germination, mais leur action est moins intense et moins durable que lorsqu'il y a éclaircissement ; et nous avons pu reconnaître que en dehors du concours de l'énergie lumineuse, l'acide peut bien agir comme excitant, tout en n'ayant pas, il est vrai, la même valeur alimentaire.

Nous sommes donc amenée à envisager plusieurs modes d'action de l'acide, et c'est là que la question devient très délicate. Il y aurait, d'une part, une action directe qui proviendrait peut-être de la transformation des acides organiques en hydrates de carbone sous l'influence de la lumière et une action indirecte qui s'exercerait en accélérant la transformation des matières de réserve.

Nous avons vu plus haut que les acides pourraient jouer un rôle en facilitant ou en entravant les actions diastasiques ; nous savons, de plus, que les acides dilués facilitent souvent la transformation des proferments en ferments. Tel est le cas, par exemple, de la trypsine, que l'on n'obtient par la macération aqueuse du pancréas qu'à la condition d'aciduler légèrement la liqueur (par l'acide salicylique à 1 o/oo, entre autres) ; tel est le cas du labferment, qui n'est obtenu de la même manière, avec la muqueuse gastrique, que si l'on traite le tissu par une solution d'acide chlorhydrique. Il est donc possible que, dans la graine, les acides introduits hâtent la transformation des zymogènes en ferments actifs ; pourtant, il se peut encore que les acides attaquent directement certaines matières de réserve comme l'amidon. Nous devons convenir que l'état actuel de nos connaissances ne nous permet de rien conclure de définitif à cet égard.

En tout cas, l'action physiologique que l'acide exerce sur les jeunes plantes a, comme nous l'avons observé encore, un retentissement sur leur structure. Les principales modifications anatomiques que nous avons relevées sont : 1° un retard dans la sclérification des éléments de soutien et dans la lignification du tissu vasculaire ; 2° une augmentation de volume du cylindre central, et 3° un accroissement des tissus conducteurs.

Pour répondre maintenant à une question qui pourrait être posée, nous avons tenté de rechercher si les effets constatés sont attribuables à l'ion positif ou à l'ion négatif qui constituent l'acide. Il nous faut reconnaître que les expériences entreprises ne nous permettent pas de répondre aussi nettement que nous le désirerions sur ce point. Les seuls résultats nets

obtenus au cours de cette série d'expériences sont que l'influence du courant électrique sur les fèves plongées dans une solution acide provoque un abaissement du quotient respiratoire et amène des perturbations dans les phénomènes germinatifs. Ces perturbations sont, suivant les cas, à l'avantage ou au détriment des graines expérimentées. Nous avons reconnu, en outre, qu'avec des électrodes attaquables on peut introduire dans le végétal, par la voie électrique, des substances métalliques dont on n'aurait pu provoquer la pénétration par l'osmose, et nous croyons qu'il y aurait intérêt à poursuivre des études en ce sens.

Qu'il nous soit permis, en terminant ce travail, d'adresser à notre cher Maître, M. Jumelle, l'expression de notre reconnaissance la plus profonde. C'est lui qui nous a inspiré cette étude, c'est grâce à son concours incessant et aux précieux conseils qu'il n'a cessé de nous prodiguer avec tant de bienveillance que nous avons pu la terminer.

Nous adressons aussi nos bien vifs remerciements à M. le docteur Drevon, pour la collaboration technique qu'il a bien voulu donner à une partie de nos recherches.

Nous devons remercier également M. Raybaud, docteur ès-sciences, préparateur à la Faculté, pour les facilités de travail et l'aide obligeante qu'il nous a si souvent données.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	1
HISTORIQUE	3
PLAN — MÉTHODE	19
CHAPITRE PREMIER	
<i>Influence de l'acidité extérieure sur la germination.</i>	27
1 ^o Graines de fruits acides.	27
2 ^o Graines de fruits à péricarpe sec	48
CHAPITRE II	
<i>Influence de l'acidité intérieure sur la germination.</i>	67
CHAPITRE III	
<i>Influence de l'acidité extérieure sur la germination dans des milieux nutritifs divers.</i>	79
1 ^o Germination dans le terreau	79
2 ^o Germination en présence de solutions minérales	81
CHAPITRE IV	
<i>Dosage de l'acidité interne des plantules développées en milieux acides et en milieux neutres.</i>	85
<i>Cultures en milieux non nutritifs.</i>	86
<i>Cultures en milieux nutritifs.</i>	91
CHAPITRE V	
<i>Variations de l'acidité du milieu au cours de la germination.</i>	95
CHAPITRE VI	
<i>Influence des acides sur la respiration des graines en voie de germination.</i>	105
I. — Influence de l'acide citrique sur la respiration des graines de piment	106
II. — Action de divers acides sur la respiration des graines de tomate.	106
III. — Influence de divers acides sur les échanges respiratoires du blé au cours de la germination	112
IV. — Action de divers acides sur le quotient respiratoire des graines de Ricin et de leurs organes constitutifs.	117
V. — Influence des acides sur la respiration de diverses autres graines	120
VI. — Influence de l'acide malique sur les graines de groseillier.	125
VII. — Action de l'acide citrique sur différentes graines de haricot.	126
VIII. — Influence de divers acides sur les graines d'oseille.	132

CHAPITRE VII

Influence des acides sur la respiration intramoléculaire des graines. 135

CHAPITRE VIII

Influence de la lumière sur l'assimilation des acides 147

CHAPITRE IX

Influence du courant électrique sur les graines en solutions acides. 155

CHAPITRE X

Modifications anatomiques produites par les acides pendant la période germinative . . . 165

RÉSUMÉ GÉNÉRAL ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS. 169



TABLE DES FIGURES

	Pages
FIGURE 1. — Variations du poids frais de plantules de tomate se développant en présence des solutions acides.	29
FIGURE 2. — Variations de la teneur en eau des plantules de tomate en présence de (I) l'acide oxalique à 0,5 o/oo ; (II) l'acide oxalique à 1 o/oo ; (III) l'acide oxalique à 2,5 o/oo ; (IV) l'acide malique à 1 o/oo ; (V) l'eau pure	30
FIGURE 3. — Piments cueillis sur des pieds provenant de graines traitées par l'eau pure (A) ; par l'acide citrique à 0,5 o/oo (B) ; par l'acide tartrique à 1 o/oo (C)	76
FIGURE 3 (bis). — Variations du quotient respiratoire des graines de tomate, en fonction de la concentration d'acide oxalique	107
FIGURE 4. — Variations de l'intensité respiratoire des graines de tomate avec les concentrations d'acide malique	109
FIGURE 5. — Variations du quotient respiratoire des graines de tomate en fonction des concentrations de l'acide citrique.	111
FIGURE 6. — Variations du quotient respiratoire des grains de blé au cours de la germination en présence de l'acide citrique à 0,5 o/oo, de l'acide citrique à 1 o/oo et de l'eau pure.	114
FIGURE 7. — Modifications apportées à l'intensité respiratoire des grains de blé, au cours de la germination, par l'acide citrique à 0,5 et à 1 o/oo.	115
FIGURE 8. — Fève dans une solution d'acide citrique. La cathode est piquée dans la graine.	156
FIGURE 9. — Fève dans une solution d'acide citrique. L'anode est piquée dans la graine	157
FIGURE 10. — Section transversale schématique d'une graine piquée par la cathode. .	158
FIGURE 11. Section transversale schématique d'une graine piquée par l'anode.	159
PLANCHE HORS-TEXTE. — Plantules de fève.	179

PLANCHE I.



PLANTULES DE FÈVE

ARROSÉES AVEC

- A. — Une solution d'acide citrique à 5 0/00.
- B - De l'eau pure.
- C. — Une solution d'acide citrique à 2,5 0/00.

DEUXIÈME THÈSE

ZOOLOGIE. — Organisation et développement des Cyclostomes.

GÉOLOGIE. — Série fluvio-lacustre de la vallée du Rhône.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 15 Avril 1912

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

PAUL APPELL.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

P^r le Vice-Recteur :

L'Inspecteur d'Académie,

FONTENÉ.

